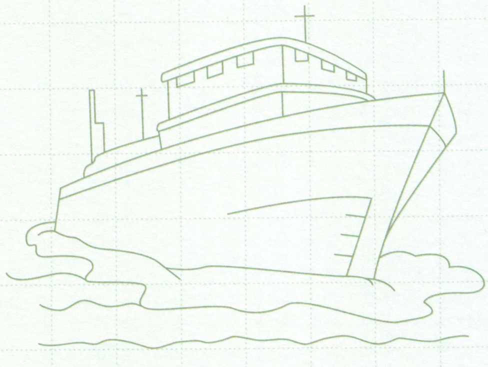
小猿书社

傅雪平 / 编著

满分之路

搞定高考物理实验题

攻克高考物理实验题，这一本就够了



高中物理

PHYSICS

沈阳出版发行集团
沈阳出版社

目 录

专题一　研究匀变速直线运动 …………………………………… 1
专题二　探究弹力和弹簧伸长的关系 ……………………………… 11
专题三　验证力的平行四边形定则 ……………………………… 19
专题四　验证牛顿运动定律 ……………………………………… 28
专题五　研究平抛运动 …………………………………………… 39
专题六　探究动能定理 …………………………………………… 46
专题七　验证机械能守恒定律 …………………………………… 59
专题八　验证动量守恒定律 ……………………………………… 71
专题九　测定动摩擦因数 ………………………………………… 83
专题十　力学创新实验 …………………………………………… 93
专题十一　电阻测量及测定金属的电阻率 ……………………… 104
专题十二　描绘小电珠的伏安特性曲线 ………………………… 117
专题十三　测定电源的电动势和内阻 …………………………… 129
专题十四　电压表与电流表的改装 ……………………………… 142
专题十五　练习使用多用电表 …………………………………… 152
专题十六　传感器的简单使用 …………………………………… 164
专题十七　电学创新实验 ………………………………………… 179
专题十八　用单摆测定重力加速度 ……………………………… 188
专题十九　测定玻璃的折射率 …………………………………… 198
专题二十　用双缝干涉测光的波长 ……………………………… 205

答案与解析

专题一　研究匀变速直线运动 …………………………… 211

专题二　探究弹力和弹簧伸长的关系 ……………………… 212

专题三　验证力的平行四边形定则 ………………………… 213

专题四　验证牛顿运动定律 ………………………………… 215

专题五　研究平抛运动 ……………………………………… 217

专题六　探究动能定理 ……………………………………… 218

专题七　验证机械能守恒定律 ……………………………… 220

专题八　验证动量守恒定律 ………………………………… 221

专题九　测定动摩擦因数 …………………………………… 223

专题十　力学创新实验 ……………………………………… 225

专题十一　电阻测量及测定金属的电阻率 ………………… 226

专题十二　描绘小电珠的伏安特性曲线 …………………… 227

专题十三　测定电源的电动势和内阻 ……………………… 229

专题十四　电压表与电流表的改装 ………………………… 231

专题十五　练习使用多用电表 ……………………………… 233

专题十六　传感器的简单使用 ……………………………… 235

专题十七　电学创新实验 …………………………………… 237

专题十八　用单摆测定重力加速度 ………………………… 238

专题十九　测定玻璃的折射率 ……………………………… 240

专题二十　用双缝干涉测光的波长 ………………………… 242

专题一　研究匀变速直线运动

典例剖析

题型1：利用打点计时器研究匀变速直线运动

【例1】(2016·天津卷)某同学利用如图1所示装置研究小车的匀变速直线运动.

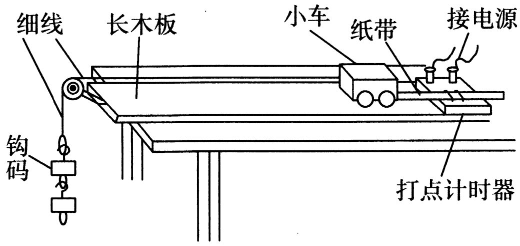


图1

(1)实验中,必要的措施是________.

A. 细线必须与长木板平行

B. 先接通电源再释放小车

C. 小车的质量远大于钩码的质量

D. 平衡小车与长木板间的摩擦力

(2)他实验时将打点计时器接到频率为50 Hz的交流电源上,得到一条纸带,打出的部分计数点如图2所示(每相邻两个计数点间还有4个点,图中未画出). $s_1 = 3.59$ cm, $s_2 = 4.41$ cm, $s_3 = 5.19$ cm, $s_4 = 5.97$ cm, $s_5 = 6.78$ cm, $s_6 = 7.64$ cm. 则小车的加速度 $a =$ ________ m/s^2(要求充分利用测量的数据),打点计时器在打 B 点时小车的速度 $v_B =$ ________ m/s.(结果均保留两位有效数字)

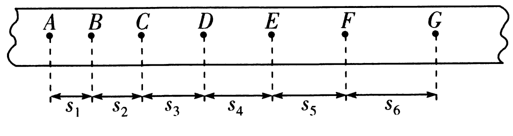


图2

解析

[分析]

(1)本实验的要求是小车做匀变速直线运动,即小车受到的合外力必须恒定不变,所以细线必须与长木板平行,选项A正确;为了在纸带上获得足够多的实验数

●解析

据，一般要求实验时要先接通电源再释放小车，选项 B 正确；本实验只要求小车做匀变速直线运动，没有要求细线的拉力近似等于钩码的重力，也就没有必要要求“钩码的重力近似等于绳子对小车的拉力”，因此没必要使小车的质量远大于钩码的质量，选项 C 错误；同样的，也没有必要要求“小车受到的合外力等于绳子对小车的拉力”，因此也不需平衡小车与长木板间的摩擦力，选项 D 错误.

(2)两相邻计数点间的时间间隔 $T=0.1\ \mathrm{s}$；我们可以将每三段作为一个单元，每个单元的时间 $t=3T=0.3\ \mathrm{s}$，由加速度公式可得 $a=\dfrac{(s_6+s_5+s_4)-(s_3+s_2+s_1)}{(3T)^2}=0.80\ \mathrm{m/s^2}$，$B$ 点是 A、C 两点的“时间中点”，根据匀变速直线运动的规律“中间时刻的瞬时速度等于这段时间内的平均速度”，可得打点计时器在打 B 点时小车的速度 $v_B=\dfrac{s_1+s_2}{2T}=0.40\ \mathrm{m/s}$.

[**答案**]

(1)AB　(2)0.80　0.40

[**感悟方法**]

1. **从实验原理出发**：注意不要把此实验与验证牛顿第二定律的实验相混淆；在验证牛顿第二定律的实验中，要求小车的质量远大于钩码的质量和需要平衡小车与长木板间的摩擦力，但在此实验中这些是不必要的.
2. **两段法求加速度**：由纸带求加速度的基本方法为 $\Delta x=aT^2$，在具体求解中，没有必要运用“逐差法”然后求平均值，我们只要采用累积放大的方法，把纸带分成两段来处理即可，但要注意的是，当遇到的是奇数段时，一般要舍去最短的一段，然后再作两段处理.

题型2：利用光电门研究匀变速直线运动

【例2】(2011·宁夏卷)利用如图1所示的装置可测量滑块在斜面上运动的加速度. 一斜面上安装有两个光电门，其中光电门乙固定在斜面上靠近底端处，光电门甲的位置可移动. 当一带有遮光片的

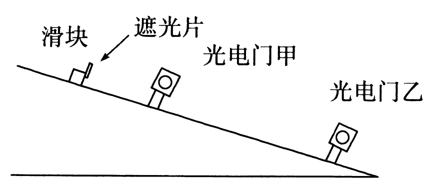


图1

滑块自斜面上滑下时，与两个光电门都相连的计时器可以显示出遮光片从光电门甲至乙所用的时间 t. 改变光电门甲的位置进行多次测量，每次都使滑块从同一点由静止开始下滑，并用米尺测量甲、乙之间的距离 s，记下相应的 t 值；所得数据如下表所示.

s/m	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.950
t/ms	292.9	371.5	452.3	552.8	673.8	776.4
$\frac{s}{t}$/(m·s^{-1})	1.71	1.62	1.55	1.45	1.34	1.22

完成下列作图和填空：

(1) 根据表中给出的数据，在图 2 给出的坐标纸上画出 $\frac{s}{t}$-t 图线；

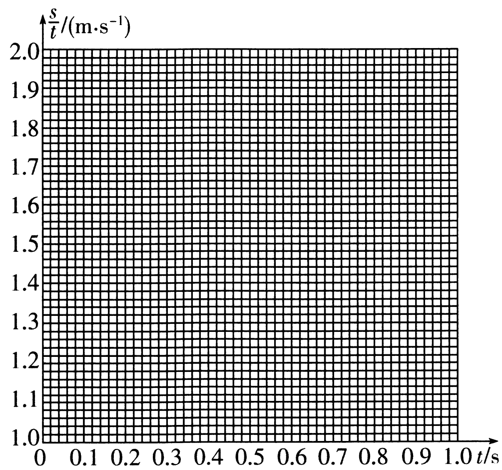


图 2

(2) 若滑块所受摩擦力为一常量，滑块加速度的大小 a、滑块经过光电门乙时的瞬时速度 v_t、测量值 s 和 t 四个物理量之间所满足的关系式是________；

(3) 由所画出的 $\frac{s}{t}$-t 图线，得出滑块加速度的大小为 a = ________m/s^2（保留 2 位有效数字）.

● 解析

［分析］

(1) 根据表中给出的数据，在坐标纸上画出 $\frac{s}{t}$-t 图线；

●解析

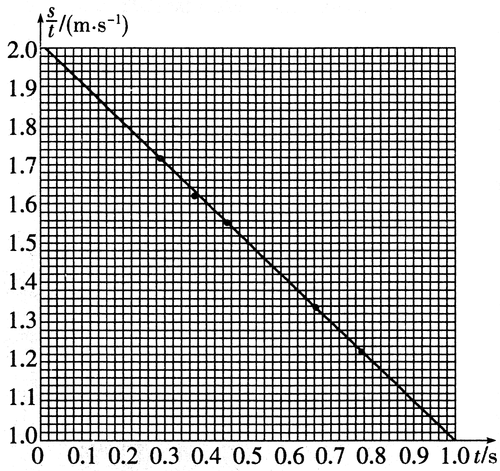
(2)已知滑块沿斜面下滑时做匀加速运动，设滑块加速度的大小 a、滑块经过光电门乙时的瞬时速度 v、测量值 s 和 t 四个物理量. 速度是下滑的末速度，为简便起见，我们不妨思考下滑的逆过程，即初速度为 v 的匀减速直线运动，可得 $s=vt-\frac{1}{2}at^2$.

(3)由 $s=vt-\frac{1}{2}at^2$ 整理得到 $\frac{s}{t}=v-\frac{1}{2}at$，可知加速度的大小等于斜率绝对值的两倍. 所以由图象得出滑块加速度的大小为 $a=2.0\ \mathrm{m/s^2}$.

[**答案**]

(1)如图所示　(2) $s=vt-\frac{1}{2}at^2$

(3)2.0



[**感悟方法**]

1. **描点连线的方法**：连线时有三个基本要求：一是去除“奇异点”，我们首先从整体看数据点的“趋势”，如果发现某些点偏离这个趋势过大，应该予以去除，因为这些实验数据往往不在误差允许范围内；其次要将尽量多的点落在这一直线上；第三，对于不在直线上的点，分布在直线两侧的数目要比较均匀.

2. **数形结合的方法**：从图线上获取实验结果的方法一般采用数形结合的方法. 具体操作时有两种策略. 一是从图线上获得具体的数据值，代入式子求解出结果；另一种方法是先将解析式进行“整形”，再与图线相“照应”，求出相应的实验结果来. 本题我们采用的就是这种方法. 读者也可以试试第一种方法.

题型3：利用滴水法研究匀变速直线运动

【例3】(2017·全国卷Ⅰ)某探究小组为了研究小车在桌面上的直线运动，用自制“滴水计时器”计量时间. 实验前，将该计时器固定在小车旁，如图1所示. 实验时，保持桌面水平，用手轻推一下小车. 在小车运动过程中，滴水计时器等时间间隔地滴下小水滴，图2记录了桌面上连续的6个水滴的位置.(已知滴水计时器每30 s内共滴下46个小水滴)

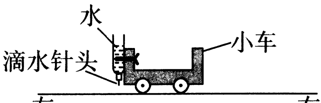


图 1

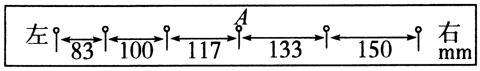


图 2

(1)由图 2 可知,小车在桌面上是__________(填“从右向左”或“从左向右”)运动的.

(2)该小组同学根据图 2 的数据判断出小车做匀变速运动. 小车运动到图 2 中 A 点位置时的速度大小为________m/s,加速度大小为________m/s^2.(结果均保留 2 位有效数字)

●解析

[**分析**]

(1)结合小车在桌面上做匀减速直线运动,由图 2 可知小车在桌面上是从右向左运动的.

(2)滴水周期 $T=\frac{30}{45}\ s=\frac{2}{3}\ s$,小车运动到图 2 中 A 点位置时的速度 $v_A=\frac{117+133}{2\times\frac{2}{3}}\times 10^{-3}\ m/s=0.19\ m/s$,由于出现的是“奇数段”我们可以先去除第一段,然后再采用“两段法”求出加速度 $a=\frac{150+133-117-100}{4\times\left(\frac{2}{3}\right)^2}\times10^{-3}\ m/s^2=0.037\ m/s^2$.

[**答案**]

(1)从右向左 (2)0.19 0.037

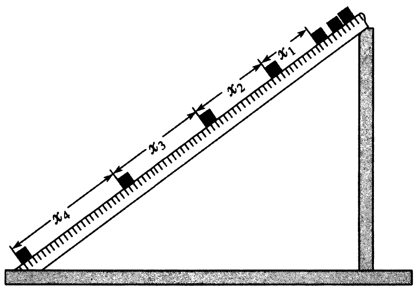
[**感悟方法**]

1. **模拟实验情景**:高考题中涉及的很多实验并不是我们平时做过的实验,这个时候需要极强的“模拟情景”能力,也就是快速融入到实验情景中去,就好比是“你正在做这个实验”,这个能力极为重要.

2. **类比等效思维**:本实验虽为滴水法研究直线运动,但从模型来看,还是属于纸带法研究匀变速直线运动类问题,相关的原理方法可以直接“引进”.

题型4：利用频闪照片研究匀变速直线运动

【例4】(2014·全国卷)现用频闪照相方法来研究物块的变速运动. 在一小物块沿斜面向下运动的过程中,用频闪相机拍摄的不同时刻物块的位置如图所示. 拍摄时频闪频率是 10 Hz;通过斜面上固定的刻度尺读取的 5 个连续影像间的距离依次为 x_1、x_2、x_3、x_4. 已知斜面顶端的高度 h 和斜面的长度 s. 数据如下表所示. 重力加速度大小 $g = 9.80\ \text{m/s}^2$.



单位:cm

x_1	x_2	x_3	x_4	h	s
10.76	15.05	19.34	23.65	48.00	80.00

根据表中数据,完成下列填空:

(1)物块的加速度 $a =$________(保留 3 位有效数字).

(2)因为________________________,可知斜面是粗糙的.

●解析

[分析]

(1)根据两段法求出加速度

$$a=\frac{(x_3+x_4)-(x_1+x_2)}{(2T)^2}=4.30\ \text{m/s}^2.$$

(2)根据牛顿第二定律,物块沿光滑斜面下滑的加速度 $a' = g\sin\theta = g\frac{h}{s} = 5.88\ \text{m/s}^2$,由于 $a<a'$,可知斜面是粗糙的.

[答案]

(1)4.30(填“4.29”或“4.31”同样给分)　(2)物块加速度小于$g\frac{h}{s}=5.88\ \text{m/s}^2$(或:物块加速度小于物块沿光滑斜面下滑的加速度)

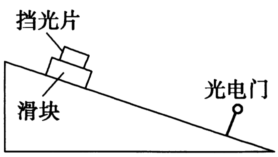
●解析

［**感悟方法**］

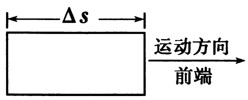
1. **等效类比的方法**：上题的“频闪照相”的方法与打点计时器打点的方法本质上相同，所以相关的处理方法可以直接“引进”.
2. **虚拟比较的方法**：要判断斜面是否光滑，上题采用了虚拟比较的方法，即假设斜面光滑，求出相应的加速度，再与问题情景中的加速度相比较，从而容易判断出斜面的粗糙程度.

实战演练

1. (2017·全国卷Ⅱ)某同学研究在固定斜面上运动物体的平均速度、瞬时速度和加速度之间的关系. 使用的器材有：斜面、滑块、长度不同的矩形挡光片、光电计时器.



图(a)



图(b)

实验步骤如下：

①如图(a)所示，将光电门固定在斜面下端附近；将一挡光片安装在滑块上，记下挡光片前端相对于斜面的位置，令滑块从斜面上方由静止开始下滑；

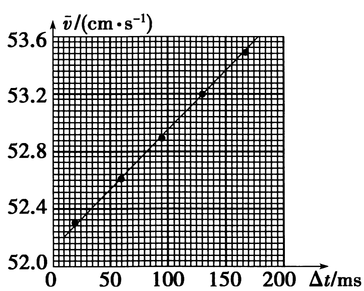
②当滑块上的挡光片经过光电门时，用光电计时器测得光线被挡光片遮住的时间 Δt；

③用 Δs 表示挡光片沿运动方向的长度[如图(b)所示]，$\bar{v}$ 表示滑块在挡光片遮住光线的 Δt 时间内的平均速度大小，求出 $\bar{v}$；

④将另一挡光片换到滑块上，使滑块上的挡光片前端与①中位置相同，令滑块由静止开始下滑，重复步骤②、③；

⑤多次重复步骤④；

⑥利用实验中得到的数据作出 $\bar{v}$-Δt 图，如图(c)所示.



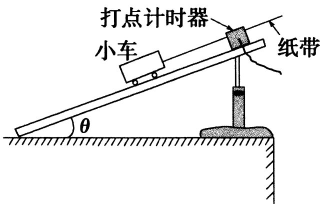
图(c)

完成下列填空：

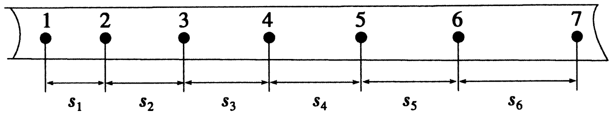
(1)用 a 表示滑块下滑的加速度大小，用 v_A 表示挡光片前端到达光电门时滑块的瞬时速度大小，则 $\bar{v}$ 与 v_A、a 和 Δt 的关系式为 $\bar{v}$ = ________________.

(2)由图(c)可求得，v_A = ________ cm/s，a = ________ cm/s^2.（结果保留 3 位有效数字）

2.（2013·广东卷）研究小车匀变速直线运动的实验装置如图(a)所示，其中斜面倾角 θ 可调. 打点计时器的工作频率为 50 Hz，纸带上计数点的间距如图(b)所示，其中每相邻两点之间还有 4 个记录点未画出.



(a)



(b)

(1)部分实验步骤如下：

A. 测量完毕，关闭电源，取出纸带.

B. 接通电源，待打点计时器工作稳定后放开小车.

C. 将小车停靠在打点计时器附近，小车尾部与纸带相连.

D. 把打点计时器固定在平板上，让纸带穿过限位孔.

上述实验步骤的正确顺序是：________（用字母填写）

(2)图(b)中标出的相邻两计数点的时间间隔 T = ______ s.

(3)计数点 5 对应的瞬时速度大小计算式为 v_5 = ________.

(4)为了充分利用记录数据，减小误差，小车加速度大小的计算式应为 a = ________.

3.（2007·江苏卷）如图 a 所示，质量为 M 的滑块 A 放在气垫导轨 B 上，C 为位移传感器，它能将滑块 A 到传感器 C 的距离数据实时传送到计算机上，经计算机处理后在屏幕上显示滑块 A 的位移-时间(s-t)图象和速率-时间(v-t)图象. 整个装置置于高度可调节的斜面上，斜面的长度为 l、高度为 h.（取重力加速度 $g = 10\ m/s^2$，结果可保留一位有效数字）.

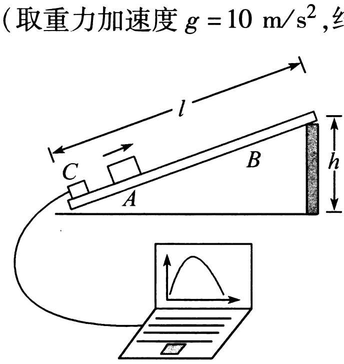


图 a

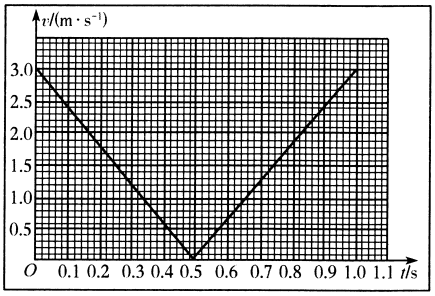


图 b

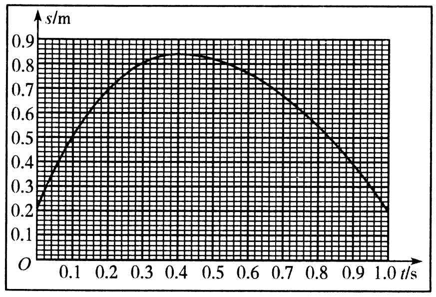


图 c

(1)现给滑块 A 一沿气垫导轨向上的初速度,A 的 v-t 图象如图 b 所示. 从图线可得滑块 A 下滑时的加速度 $a=$________ m/s^2,摩擦力对滑块 A 运动的影响__________.(填“明显,不可忽略”或“不明显,可忽略”)

(2)此装置还可用来验证牛顿第二定律. 实验时通过改变________,可验证质量一定时,加速度与力成正比的关系;通过改变____________________,可验证力一定时,加速度与质量成反比的关系.

(3)将气垫导轨转换成滑板,滑块 A 换成滑块 A',给滑块 A'一沿滑板向上的初速度,A'的 s-t 图线如图 c 所示. 图线不对称是由于____________造成的,通过图线可求得滑板的倾角 $\theta=$________(用反三角函数表示),滑块与滑板间的动摩擦因数 $\mu=$________.

4.(2007·北京卷)某同学用如图 1 所示的实验装置研究小车在斜面上的运动.

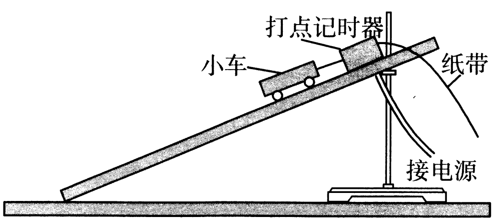


图 1

实验步骤如下:

a. 安装好实验器材.

b. 接通电源后,让拖着纸带的小车沿平板斜面向下运动,重复几次. 选出一条点迹比较清晰的纸带,舍去开始密集的点迹,从便于测量的点开始,每两个打点间隔取一个计数点,如图 2 中 0、1、2、…、6 点所示.

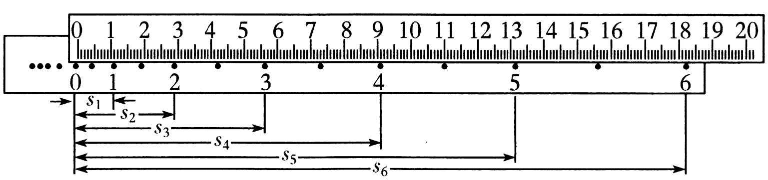


图 2

c. 测量 1、2、3、…、6 计数点到 0 计数点的距离，分别记做 s_1、s_2、s_3…s_6.

d. 通过测量和计算，该同学判断出小车沿平板做匀加速直线运动.

e. 分别计算出 s_1、s_2、s_3…、s_6 与对应时间的比值 $\frac{s_1}{t_1}$、$\frac{s_2}{t_2}$、$\frac{s_3}{t_3}$…、$\frac{s_6}{t_6}$.

f. 以 $\frac{s}{t}$ 为纵坐标、t 为横坐标，标出 $\frac{s}{t}$ 与对应时间 t 的坐标点，画出 $\frac{s}{t}$-t 图线.

结合上述实验步骤，请你完成下列任务：

(1) 实验中，除打点计时器(含纸带、复写纸)、小车、平板、铁架台、导线及开关外，在下面的仪器和器材中，必须使用的有________和________.（填选项代号）

A. 电压合适的 50 Hz 交流电源　　B. 电压可调的直流电源

C. 刻度尺　　D. 秒表

E. 天平　　F. 重锤

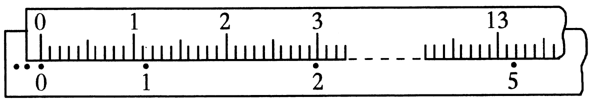


图 3

(2) 将最小刻度为 1 mm 的刻度尺的 0 刻线与 0 计数点对齐，0、1、2、5 计数点所在的位置如图 3 所示，则 s_2 = ______cm，s_5 = ______cm.

(3) 该同学在图 4 中已标出 1、3、4、6 计数点对应的坐标点，请你在该图中标出与 2、5 两个计数点对应的坐标点，并画出 $\frac{s}{t}$-t 图线.

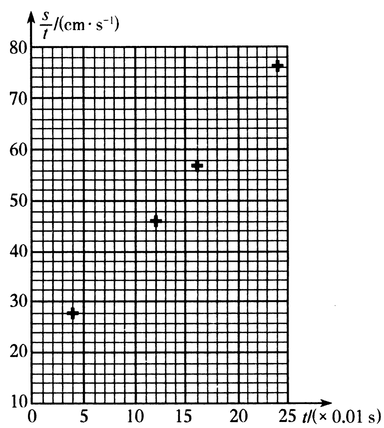


图 4

(4) 根据 $\frac{s}{t}$-t 图线判断，在打 0 计数点时，小车的速度 v_0 = ______m/s；它在斜面上运动的加速度 a = ______m/s^2.

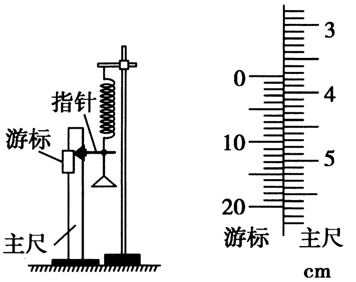
专题二 探究弹力和弹簧伸长的关系

典例剖析

题型 1：研究弹力 F 与伸长量 x 的定量关系

【例 1】(2018 · 全国卷Ⅰ)如图(a)所示，一弹簧上端固定在支架顶端，下端悬挂一托盘；一标尺由游标和主尺构成，主尺竖直固定在弹簧左边；托盘上方固定有一能与游标刻度线准确对齐的装置，简化为图中的指针.

现要测量图(a)中弹簧的劲度系数，当托盘内没有砝码时，移动游标，使其零刻度线对准指针，此时标尺读数为 1.950 cm；当托盘内放有质量为 0.100 kg 的砝码时，移动游标，再次使其零刻度线对准指针，标尺示数如图(b)所示，其读数为________cm. 当地的重力加速度大小为 9.80 m/s^2，此弹簧的劲度系数为________N/m(保留 3 位有效数字).



图(a)　　图(b)

●解析

［分析］

实验所用的游标卡尺精度为 0.05 mm，游标卡尺上游标第 15 条刻度线与主尺刻度线对齐，根据游标卡尺的读数规则，如图(b)所示的游标卡尺读数为

3.7 cm + 15 × 0.05 mm = 3.7 cm + 0.075 cm = 3.775 cm.

托盘中放有质量为 $m = 0.100$ kg 的砝码时，弹簧受到的拉力 $F = mg = 0.100 \times 9.8$ N = 0.980 N，弹簧伸长量 $x = 3.775$ cm − 1.950 cm = 1.825 cm = 0.018 25 m，根据胡克定律 $F = kx$，解得此弹簧的劲度系数 $k = \frac{F}{x} = 53.7$ N/m.

● 解析

［答案］

3.775　53.7

［感悟方法］

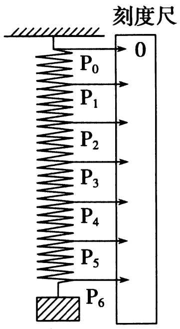
1. **游标卡尺的读数**：要注意不同游标卡尺的精度：游标上 10 分格的精度为 0.1 mm，20 分格的精度是 0.05 mm，50 分格的精度是 0.02 mm. 读数的统一方法为：读数 = 主尺读数 + 精度 × n，式中 n 指的是游标卡尺上游标第 n 条刻度线与主尺刻度线对齐.

 对于游标卡尺要不要估读，有两种观点，一种认为游标卡尺不需要估读，一种认为游标卡尺的主尺本质就是毫米刻度尺，游标的作用就是帮助我们估读.

2. **重力加速度的取值**：在一般的计算题中，为了计算方便，我们往往把重力加速度按照习惯用 $g = 10\ \text{m/s}^2$ 代入计算；但是在实验题的数据处理中，除非有特殊说明，否则 g 的值要取 $9.8\ \text{m/s}^2$ 代入计算.

题型 2：探究影响弹簧劲度系数的因素

【例 2】（2014 · 全国卷Ⅱ）某实验小组探究弹簧的劲度系数 k 与其长度（圈数）的关系. 实验装置如图（a）所示：一均匀长弹簧竖直悬挂，7 个指针 P_0、P_1、P_2、P_3、P_4、P_5、P_6 分别固定在弹簧上距悬点 0、10、20、30、40、50、60 圈处；通过旁边竖直放置的刻度尺，可以读出指针的位置，P_0 指向 0 刻度. 设弹簧下端未挂重物时，各指针的位置记为 x_0；挂有质量为 0.100 kg 的砝码时，各指针的位置记为 x. 测量结果及部分计算结果如下表所示（n 为弹簧的圈数，取重力加速度为 $9.80\ \text{m/s}^2$）. 已知实验所用弹簧总圈数为 60，整个弹簧的自由长度为 11.88 cm.

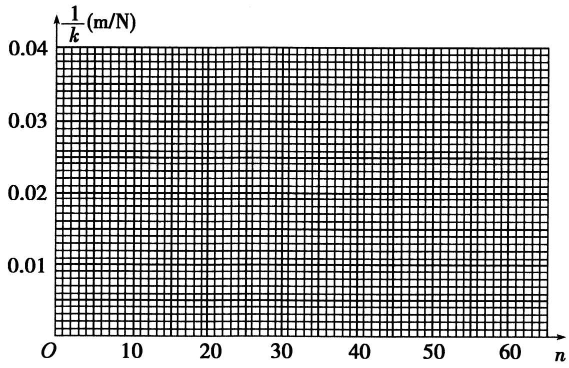


图(a)

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x_0(cm)	2.04	4.06	6.06	8.05	10.03	12.01
x(cm)	2.64	5.26	7.81	10.30	12.93	15.41
n	10	20	30	40	50	60
k(N/m)	163	①	56.0	43.6	33.8	28.8
$\frac{1}{k}$(m/N)	0.006 1	②	0.017 9	0.022 9	0.029 6	0.034 7

(1)将表中数据补充完整:①________,②________.

(2)以 n 为横坐标,$\frac{1}{k}$为纵坐标,在图(b)给出的坐标纸上画出$\frac{1}{k}$-n 图象.



图(b)

(3)图(b)中画出的直线可近似认为通过原点.若从实验中所用的弹簧中截取圈数为 n 的一段弹簧,该弹簧的劲度系数 k 与其圈数 n 的关系的表达式为 k = ________ N/m;该弹簧的劲度系数 k 与其自由长度 l_0(单位为 m)的关系的表达式为 k = ________ N/m.

● 解析

[分析]

(1)① $k=\frac{mg}{\Delta x}=\frac{0.100\times9.80}{(5.26-4.06)\times10^{-2}}$ N/m = 81.7 N/m;

② $\frac{1}{k}=\frac{1}{81.7}$ m/N = 0.012 2 m/N.

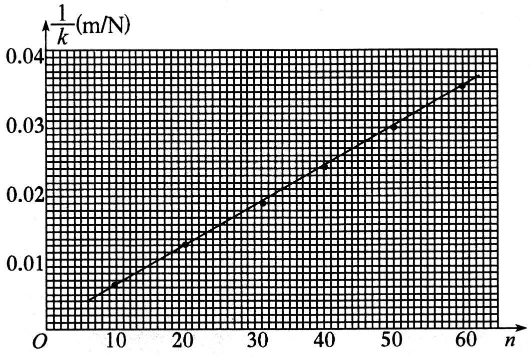
(3)由作出的图象可知直线的斜率为 $k=\frac{0.0347-0.0061}{60-10}=0.000572$,故直线方程满足$\frac{1}{k}=0.000572n$ m/N,即 $k=\frac{1.75\times10^3}{n}$ N/m(在$\frac{1.67\times10^3}{n}$ ~ $\frac{1.83\times10^3}{n}$之间均可以);

由于60圈弹簧的原长为11.88 cm,则 n 圈弹簧的原长满足$\frac{n}{l_0}=\frac{60}{11.88\times10^{-2}}$,代入数值,得 $k=\frac{3.47}{l_0}$(在$\frac{3.31}{l_0}$ ~ $\frac{3.62}{l_0}$之间均可以).

[**答案**]

(1)①81.7　②0.012 2

(2)如图所示



(3)$\frac{1.75\times10^3}{n}$($\frac{1.67\times10^3}{n}$ ~ $\frac{1.83\times10^3}{n}$之间均可)　$\frac{3.47}{l_0}$($\frac{3.31}{l_0}$ ~ $\frac{3.62}{l_0}$之间均可)

[**感悟方法**]

1. **处理数据的方法**:本题淋漓尽致地展现了数据处理的方法:表格法与图象法. 表格法有助于对数据进行分类比较,从而发现其中的规律. 图象法对数据的处理比较直观,更有利于发现其中的规律.
2. **数形结合的方法**:数形结合是处理实验数据的基本方法,本题先通过描点,再画线,然后运算,获得图象的解析式.

题型3:研究弹簧的“范性形变”问题

【例3】(2010·浙江卷)在“探究弹簧弹力大小与伸长量的关系”的实验中,甲、乙两位同学选用不同的橡皮绳代替弹簧,为测量橡皮绳的劲度系数,他们在橡皮绳下端依次逐个挂上钩码(每个钩码的质量均为 $m=0.1$ kg,取 $g=10$ m/s^2),并记录绳下端的坐标 $x_{加i}$(下标 i 表示挂在绳下端钩码个数),然后逐个拿下钩码,同样记录绳下端的坐标 $x_{减i}$,绳下端坐标的平均值 $x_i=\frac{(x_{加i}+x_{减i})}{2}$的数据如下表:

挂在橡皮绳下端的钩码个数	橡皮绳下端的坐标(x_i/mm)	
	甲	乙
1	216.5	216.5
2	246.7	232.0
3	284.0	246.5
4	335.0	264.2
5	394.5	281.3
6	462.0	301.0

(1)同一橡皮绳的 $x_{加i}$________$x_{减i}$(选填“大于”或“小于”);

(2)________同学的数据更符合实验要求(选填“甲”或“乙”);

(3)选择一组数据用作图法得出该橡皮绳的劲度系数 k(N/m);

(4)为了更好地测量劲度系数,在选用钩码时需考虑的因素有哪些?

●解析

[**分析**]

(1)橡皮绳经过拉伸后并不能完全恢复原长,所以挂同样多钩码时有 $x_{加i}<x_{减i}$.

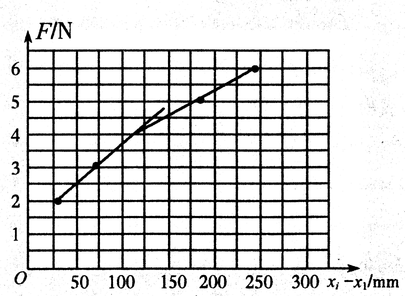
(2)甲同学每加一个钩码,形变量变化很大.而乙同学每加一个钩码,橡皮绳的形变量基本保持不变,故乙同学的数据更符合实验要求.

(3)由所给数据得改变量如下表所示

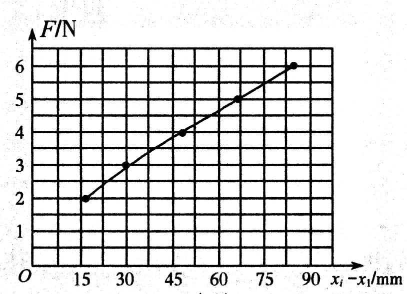
挂在橡皮绳下端的钩码个数	改变量(x_i-x_1)/mm	
	甲	乙
1		
2	30.2	15.5
3	67.5	30.0
4	118.5	47.7
5	178.0	64.8
6	245.5	84.5

取甲同学的数据作图,如图(甲).

由图(甲)可看出:只有前几个数据在弹性限度内,由图中切线斜率得 $k_甲=25$ N/m(20 N/m~30 N/m 均可以).



(甲)



(乙)

取乙同学的数据作图,如图(乙).

由图(乙)可得 $k_乙=60$ N/m(50 N/m~70 N/m 均可以).

(4)选用钩码的质量不能过大，否则很容易超出其弹性限度，质量也不能过小，否则其形变量很小，测量误差大.

[**答案**]

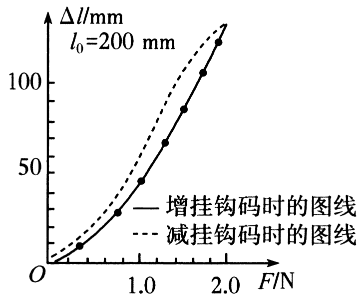
(1)小于　(2)乙　(3)(4)见解析

[**感悟方法**]

1. **与实际情景相互结合**：我们在处理物理问题时，往往会将问题模型化处理：逐个增加钩码与逐个拿下钩码只是一个逆向过程，当钩码数相同时，橡皮绳的长度理应相同. 但实验题却是最能联系实际的题型，从实际情况看橡皮绳经过拉伸后并不能完全恢复原长，所以当钩码数相同时，橡皮绳的长度并不相同.
2. **注意规律的使用条件**：每个物理规律都有其适用范围，这一点在实验题中尤为值得注意，当弹簧受到的弹力超过弹性限度时，胡克定律就不再适用.

实战演练

1. (2010·福建卷)某实验小组在做研究橡皮筋伸长与所受拉力的关系的实验时，将原长约200 mm的橡皮筋上端固定，在竖直悬挂的橡皮筋下端逐一增挂钩码(质量均为20 g)，每增挂一只钩码均记下对应的橡皮筋伸长量；当挂上10只钩码后，再逐一把钩码取下，每取下一只钩码，也记下对应的橡皮筋伸长量. 根据测量数据，作出增挂钩码和减挂钩码时的橡皮筋伸长量 Δl 与拉力 F 关系的图象如图所示. 从图象中可以得出________.(填选项前的字母)



A. 增挂钩码时 Δl 与 F 成正比，而减挂钩码时 Δl 与 F 不成正比

B. 当所挂钩码数相同时，增挂钩码时橡皮筋的伸长量比减挂钩码时的大

C. 当所挂钩码数相同时，增挂钩码时橡皮筋的伸长量与减挂钩码时的相等

D. 增挂钩码时所挂钩码数过多，导致橡皮筋超出弹性限度

2. (2012·广东卷)某同学探究弹力与弹簧伸长量的关系.

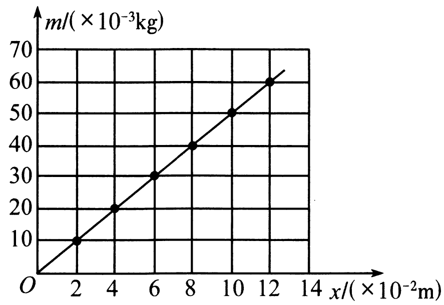
(1)将弹簧悬挂在铁架台上,将刻度尺固定在弹簧一侧. 弹簧轴线和刻度尺都应在______方向(填"水平"或"竖直").

(2)弹簧自然悬挂,待弹簧______时,长度记为 L_0;弹簧下端挂上砝码盘时,长度记为 L_x;在砝码盘中每次增加 10 g 砝码,弹簧长度依次记为 L_1 至 L_6,数据如下表:

代表符号	L_0	L_x	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
数值(cm)	25.35	27.35	29.35	31.30	33.4	35.35	37.40	39.30

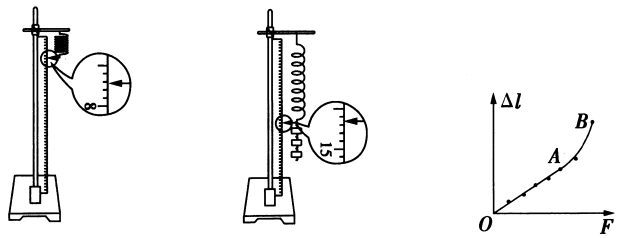
表中有一个数值记录不规范,代表符号为________. 由表可知所用刻度尺的最小分度为________.

(3)如图所示为该同学根据表中数据作的图,纵轴是砝码的质量,横轴是弹簧长度与________的差值(填"L_0 或 L_x").



(4)由图可知弹簧的劲度系数为________N/m;通过图和表可知砝码盘的质量为________g(结果保留两位有效数字,重力加速度取 9.8 m/s^2).

3. (2015·福建卷)某同学做"探究弹力和弹簧伸长量的关系"的实验.



甲 乙 丙

(1)图甲是不挂钩码时弹簧下端指针所指的标尺刻度,其示数为 7.73 cm;图乙是在弹簧下端悬挂钩码后指针所指的标尺刻度,此时弹簧的伸长量 Δl 为________cm;

(2)本实验通过在弹簧下端悬挂钩码的方法来改变弹簧的弹力，关于此操作，下列选项中规范的做法是________；(填选项前的字母)

A. 逐一增挂钩码，记下每增加一只钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重

B. 随意增减钩码，记下增减钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重

(3)图丙是该同学描绘的弹簧的伸长量 Δl 与弹力 F 的关系图线，图线的 AB 段明显偏离直线 OA，造成这种现象的主要原因是________________________________.

4.(2014·浙江卷)在“探究弹力和弹簧伸长的关系”时，某同学把两根弹簧如图 1 所示连接起来进行探究.

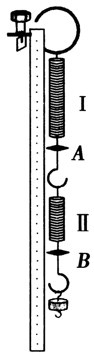


图 1

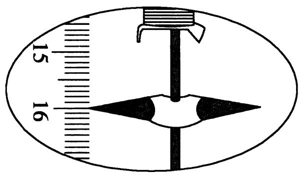


图 2

钩码数	1	2	3	4
L_A/cm	15.71	19.71	23.66	27.76
L_B/cm	29.96	35.76	41.51	47.36

(1)某次测量如图 2 所示，指针示数为________cm.

(2)在弹性限度内，将 50 g 的钩码逐个挂在弹簧下端，得到指针 A、B 的示数 L_A 和 L_B 如表所示. 用表中数据计算弹簧Ⅰ的劲度系数为________ N/m(重力加速度 $g = 10\ m/s^2$). 由表中数据________(填“能”或“不能”)计算出弹簧Ⅱ的劲度系数.

专题三　验证力的平行四边形定则

典例剖析

题型1：“两次等效”验证力的平行四边形定则

【例1】(2018·天津卷)某研究小组做“验证力的平行四边形定则”实验，所用器材有：方木板一块，白纸，量程为5 N的弹簧测力计两个，橡皮条(带两个较长的细绳套)，刻度尺，图钉(若干个).

(1)具体操作前，同学们提出了如下关于实验操作的建议，其中正确的有________.

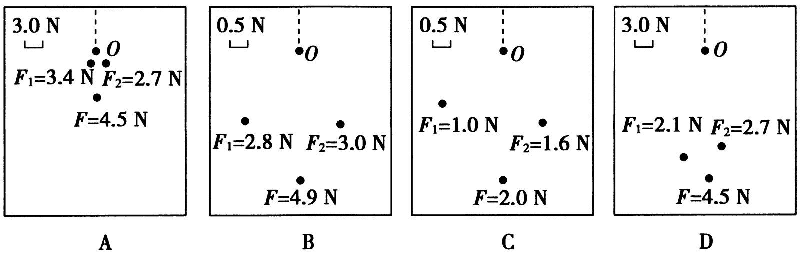
A. 橡皮条应和两绳套夹角的角平分线在一条直线上

B. 重复实验再次进行验证时，结点O的位置可以与前一次不同

C. 使用测力计时，施力方向应沿测力计轴线；读数时视线应正对测力计刻度

D. 用两个测力计互成角度拉橡皮条时的拉力必须都小于只用一个测力计时的拉力

(2)该小组的同学用同一套器材做了四次实验，白纸上留下的标注信息有结点位置O、力的标度、分力和合力的大小及表示力的作用线的点，如下图所示. 其中对于提高实验精度最有利的是________.



解析

[分析]

(1)为了使实验结果更具有普遍性，在实验过程中不应让橡皮条的拉力方向具有特殊的角度或位置，A错误；只要每一次实验时用一个力和用两个力拉的效果相同即可，即O点位置相同，不需要每次实验的O点位置都相同，B正确；使用测力计时，施力方向应沿测力计轴线；读数时视线应正对弹簧测力计的刻度，C正确；合力可以大于任一个分力，也可以等于任一分力，还可以小于任一分力，D错误.

●解析

(2)A 图和 D 图实验中选取的力的标度过大，导致画力时，线段太短，不利于实验精确度；B 图和 C 图选用的标度相同，但 C 中力太小，不利于作平行四边形，故 B 符合题意.

[**答案**]

(1)BC　(2)B

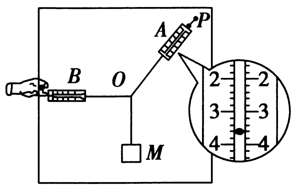
[**感悟方法**]

1. **等效法**：两个弹簧测力计同时拉橡皮筋使橡皮筋产生的形变与一个弹簧测力计单独拉橡皮筋产生的形变相同. 应使两个弹簧测力计拉橡皮筋时结点的位置与一个弹簧测力计拉橡皮筋时结点的位置相同.

2. **作图法**：通过力的图示，验证两个弹簧测力计拉力的合力与单个弹簧测力计拉力的大小、方向是否相同.

题型 2：“一次成型”验证力的平行四边形定则

【例 2】(2011 · 江苏卷)某同学用如图所示的实验装置来验证“力的平行四边形定则”. 弹簧测力计 A 挂于固定点 P，下端用细线挂一重物 M. 弹簧测力计 B 的一端用细线系于 O 点，手持另一端向左拉，使结点 O 静止在某位置. 分别读出弹簧测力计 A 和 B 的示数，并在贴于竖直木板的白纸上记录 O 点的位置和拉线的方向.



(1)本实验用的弹簧测力计示数的单位为 N，图中 A 的示数为________N.

(2)下列不必要的实验要求是________.(请填写选项前对应的字母)

A. 应测量重物 M 所受的重力

B. 弹簧测力计应在使用前校零

C. 拉线方向应与木板平面平行

D. 改变拉力，进行多次实验，每次都要使 O 点静止在同一位置

(3)某次实验中，该同学发现弹簧测力计 A 的指针稍稍超出量程，请您提出两个解决办法.

●解析

[分析]

(1)弹簧测力计的最小刻度为0.2 N,读数时做“本位估读”,不增加小数位数,所以A的读数为3.6 N.

(2)分析本实验的原理:利用三力平衡的特点来验证力的平行四边形定则,即弹簧测力计A、B的拉力的合力与重物M的重力等大反向,故A项是必要的;弹簧测力计的零点误差影响各拉力的测量值,所以应在使用前校零,B项是必要的;只有拉线方向与木板平面平行,才能保证所研究的各力在同一平面内,C项也是必要的;实验中只需测出两拉力的大小和方向以及重物的重力就可以验证平行四边形定则,故没必要使O点静止在同一位置,答案为D.

(3)弹簧测力计A的指针稍稍超出量程,说明拉弹簧测力计A的力大了,由平行四边形定则知以下几种方法可行:①减小弹簧测力计B的拉力;②减小重物M的质量(或将A更换成较大量程的弹簧测力计、改变弹簧测力计B拉力的方向等).

[答案]

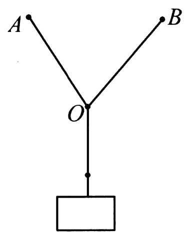
(1)3.6 (2)D (3)见解析

[感悟方法]

从“两次等效”到“一次搞定”. 教材实验是先后用两个弹簧秤与用一个弹簧秤使橡皮条伸长的方向和形变量相同,实现“等效”,所以在同一次实验中,前后两次拉动弹簧测力计使结点O位置相同. 而本实验中,只需测出两拉力的大小和方向以及重物的重力就可以验证平行四边形定则,即“一次搞定”,故没必要使O点静止在同一位置.

题型3:仅用橡皮筋验证力的平行四边形定则

【例3】(2009·山东卷)某同学在家中尝试验证平行四边形定则,他找到三条相同的橡皮筋(遵循胡克定律)和若干小重物以及刻度尺、三角板、铅笔、细绳、白纸、钉子,设计了如下实验:将两条橡皮筋的一端分别挂在墙上的两个钉子A、B上,另一端与第三条橡皮筋连接,结点为O,将第三条橡皮筋的另一端通过细绳挂一重物.



(1)为完成实验,下述操作中必需的是________.

a.测量细绳的长度

b.测量橡皮筋的原长

c.测量悬挂重物后像皮筋的长度

d.记录悬挂重物后结点 O 的位置

(2)钉子位置固定,欲利用现有器材,改变条件再次实验证,可采用的方法是________.

●解析

[**分析**]

(1)本题属于"一次搞定"问题,因此需要测量出三个力的方向,因此要记录悬挂重物后结点 O 的位置,选项 d 正确;同时要测量出三个力的大小,根据胡克定律 $F=k\Delta l=k(l-l_0)$ 可知,需要测量橡皮筋的原长 l_0 和悬挂重物后橡皮筋的长度 l,选项 b、c 正确.所以本题应选 bcd.

(2)根据"一次搞定"的思路,考虑到两个钉子 A、B 的位置固定,要改变条件再次实验证,只有改变结点 O 的位置,而要实现这一点,只要更换不同的重物即可.

[**答案**]

(1)bcd (2)更换不同的小重物

[**感悟方法**]

类比迁移的方法:对于创新类实验题,我们在解题时,要记住"万变不离其宗"的道理.虽然本题考查的是"橡皮筋",但本质上讲仍然是考查"弹簧秤"的,如果进一步类比,不难发现本题与例 2 的本质是相同的,都属于"一次搞定"的问题.

题型 4:弹簧与弹簧秤的组合验证平行四边形定则

【例 4】(2012·浙江卷)在"探究求合力的方法"实验中,现有木板、白纸、图钉、橡皮筋、细绳套和一把弹簧秤.

(1)为完成实验,某同学另找来一根弹簧,先测量其劲度系数,得到的实验数据如下表:

弹力 F(N)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
伸长量 x(10^{-2} m)	0.74	1.80	2.80	3.72	4.60	5.58	6.42

根据表中数据在图 1 中作出 F-x 图象并求得该弹簧的劲度系数 $k=$________N/m；

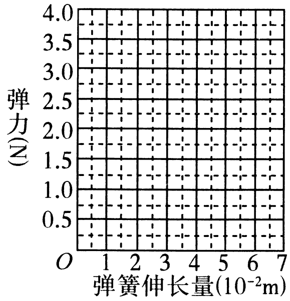


图 1

(2)某次实验中，弹簧秤的指针位置如图 2 所示，其读数为________N；同时利用(1)中结果获得弹簧上的弹力值为 2.50 N，请在虚线框中画出这两个共点力的合力 $F_{合}$；

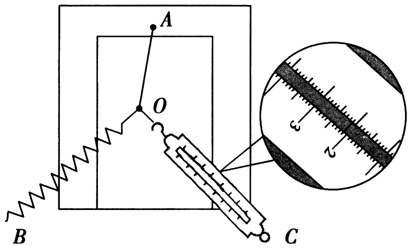


图 2

(3)由图得到 $F_{合}=$________N.

●解析

[**分析**]

(1)如解析图 1 所示，以水平方向为 x 轴，竖直方向为 F 轴，建立直角坐标系，然后描点，选尽可能多的点连成一条线，其图线的斜率即为弹簧的劲度系数 k，在直线上任取一点，如(6×10^{-2},3.2)，则 $k=\dfrac{3.2}{6\times10^{-2}}$ N/m≈53 N/m.

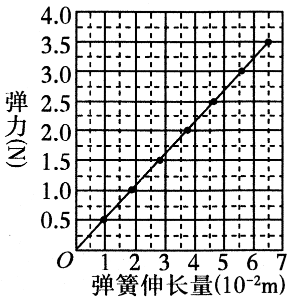


图 1

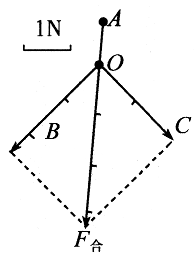


图 2

(2)弹簧秤的读数为 2.10 N，选标度 1 N

合力的图示如解析图 2 所示.

(3)经测量，合力 $F_{合}=3.3$ N.

●解析

［答案］

(1)如解析图1所示　53

(2)2.10(说明:有效数字位数正确,±0.02范围内都可)　如解析图2所示

(3)3.3(说明:±0.2范围内都可)

［感悟方法］

等效迁移的方法:本题中出现“弹簧”,由于可以测出其劲度系数,因此此“弹簧”就是“弹簧秤”,看到这一点,问题就能迎刃而解了.

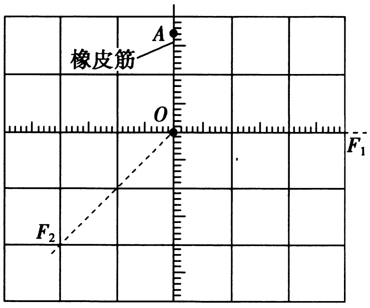
实战演练

1.(2017·全国卷Ⅲ)某探究小组做“验证力的平行四边形定则”实验,将画有坐标轴(横轴为x轴,纵轴为y轴,最小刻度表示1 mm)的纸贴在水平桌面上,如图(a)所示.将橡皮筋的一端Q固定在y轴上的B点(位于图示部分之外),另一端P位于y轴上的A点时,橡皮筋处于原长.

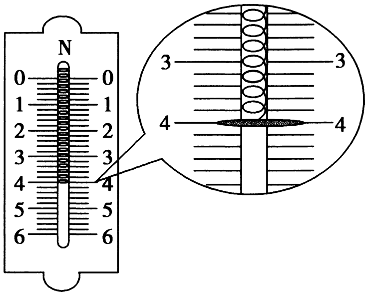
(1)用一只测力计将橡皮筋的P端沿y轴从A点拉至坐标原点O,此时拉力F的大小可由测力计读出.测力计的示数如图(b)所示,F的大小为________N.

(2)撤去(1)中的拉力,橡皮筋P端回到A点;现使用两个测力计同时拉橡皮筋,再次将P端拉至O点,此时观察到两个拉力分别沿图(a)中两条虚线所示的方向,由测力计的示数读出两个拉力的大小分别为$F_1=4.2$ N和$F_2=5.6$ N.

①用5 mm长度的线段表示1 N的力,以O为作用点,在图(a)中画出力F_1、F_2的图示,然后按平行四边形定则画出它们的合力$F_合$;



图(a)



图(b)

②$F_合$ 的大小为________N，$F_合$ 与拉力 F 的夹角的正切值为________.

若 $F_合$ 与拉力 F 的大小及方向的偏差均在实验所允许的误差范围之内，则该实验验证了力的平行四边形定则.

2.（2015・山东卷）某同学通过下述实验验证力的平行四边形定则.

实验步骤：

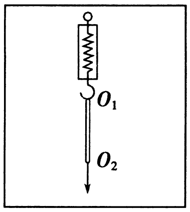


图 1

①将弹簧秤固定在贴有白纸的竖直木板上，使其轴线沿竖直方向.

②如图 1 所示，将环形橡皮筋一端挂在弹簧秤的秤钩上，另一端用圆珠笔尖竖直向下拉，直到弹簧秤示数为某一设定值时，将橡皮筋两端的位置标记为 O_1、O_2，记录弹簧秤的示数 F，测量并记录 O_1、O_2 间的距离（即橡皮筋的长度 l）. 每次将弹簧秤示数改变 0.50 N，测出所对应的 l 值，部分数据如下表所示：

F/N	0	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
l/cm	l_0	10.97	12.02	13.00	13.98	15.05

③找出②中 $F=2.50$ N 时橡皮筋两端的位置，重新标记为 O、O'，橡皮筋的拉力记为 $F_{OO'}$.

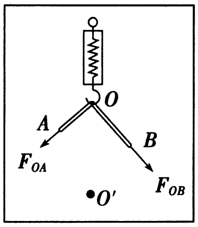


图 2

④在秤钩上涂抹少许润滑油，将橡皮筋搭在秤钩上，如图 2 所示. 用两圆珠笔尖成适当角度同时拉橡皮筋的两端，使秤钩的下端达到 O 点，将两笔尖的位置标记为 A、B，橡皮筋 OA 段的拉力记为 F_{OA}，OB 段的拉力记为 F_{OB}.

完成下列作图和填空：

（1）利用表中数据在坐标纸上画出 F-l 图线，根据图线求得 $l_0=$________cm.

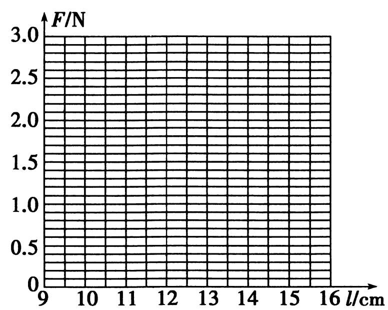


图 3

(2)测得 $OA=6.00\ \text{cm}$,$OB=7.60\ \text{cm}$,则 F_{OA}的大小为________N.

(3)根据给出的标度,在图中作出 F_{OA}和 F_{OB}的合力 F'的图示.

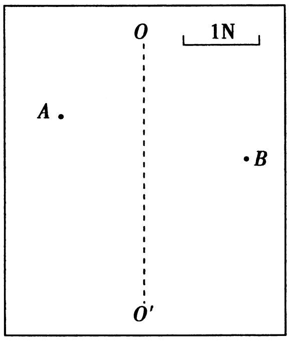


图 4

(4)通过比较 F'与________的大小和方向,即可得出实验结论.

3.(2014·江苏卷)小明通过实验验证力的平行四边形定则.

(1)实验记录纸如图 1 所示,O 点为橡皮筋被拉伸后伸长到的位置,两弹簧测力计共同作用时,拉力 F_1 和 F_2的方向分别过 P_1和 P_2点;一个弹簧测力计拉橡皮筋时,拉力 F_3的方向过 P_3点. 三个力的大小分别为:$F_1=3.30\ \text{N}$、$F_2=3.85\ \text{N}$ 和 $F_3=4.25\ \text{N}$. 请根据图中给出的标度作图求出 F_1 和 F_2 的合力.

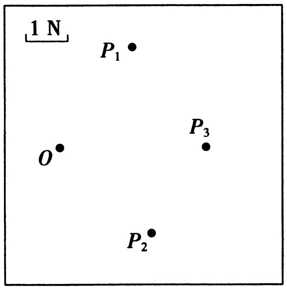


图 1

(2)仔细分析实验,小明怀疑实验中的橡皮筋被多次拉伸后弹性发生了变化,影响实验结果. 他用弹簧测力计先后两次将橡皮筋拉伸到相同长度, 发现读数不相同,于是进一步探究了拉伸过程对橡皮筋弹性的影响.

实验装置如图 2 所示,将一张白纸固定在竖直放置的木板上,橡皮筋的上端固定于 O 点,下端 N 挂一重物. 用与白纸平行的水平力缓慢地移动 N,在白纸上记录下 N 的轨迹. 重复上述过程,再次记录下 N 的轨迹.

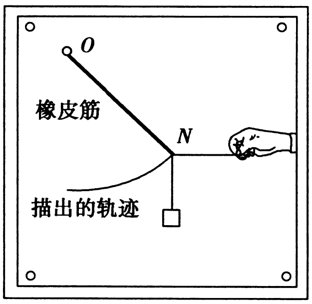


图 2

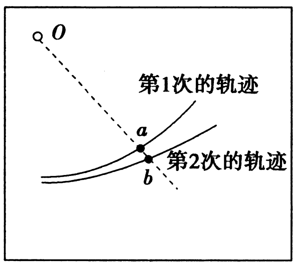


图 3

两次实验记录的轨迹如图 3 所示. 过 O 点作一条直线与轨迹交于 a、b 两点, 则实验中橡皮筋分别被拉伸到 a 和 b 时所受拉力 F_a、F_b的大小关系为________.

(3)根据(2)中的实验,可以得出的实验结果有________.(填写选项前的字母)

A. 橡皮筋的长度与受到的拉力成正比

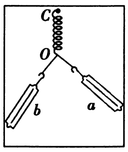
B. 两次受到的拉力相同时,橡皮筋第 2 次的长度较长

C. 两次被拉伸到相同长度时,橡皮筋第 2 次受到的拉力较大

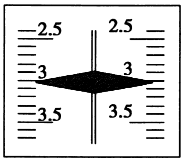
D. 两次受到的拉力相同时,拉力越大,橡皮筋两次的长度之差越大

(4)根据小明的上述实验探究,请对验证力的平行四边形定则实验提出两点注意事项.

4. (2016 · 浙江卷)某同学在"探究弹簧和弹簧伸长的关系"的实验中,测得图中弹簧 OC 的劲度系数为 500 N/m. 如图甲所示,用弹簧 OC 和弹簧秤 a、b 做"探究求合力的方法"实验. 在保持弹簧伸长 1.00 cm 不变的条件下:



甲



乙

(1)若弹簧秤 a、b 间夹角为 90°,弹簧秤 a 的读数是________N(如图乙中所示),则弹簧秤 b 的读数可能为________N.

(2)若弹簧秤 a、b 间夹角大于 90°,保持弹簧秤 a 与弹簧 OC 的夹角不变,减小弹簧秤 b 与弹簧 OC 的夹角,则弹簧秤 a 的读数________、弹簧秤 b 的读数________(填"变大""变小"或"不变").

专题四　验证牛顿运动定律

典例剖析

题型 1：用打点计时器来研究牛顿第二定律

【例 1】(2012 · 安徽卷)图 1 为“验证牛顿第二定律”的实验装置示意图.

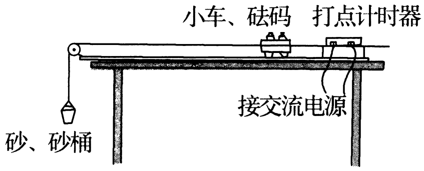


图 1

砂和砂桶的总质量为 m,小车和砝码的总质量为 M. 实验中用砂和砂桶总重力的大小作为细线对小车拉力的大小.

(1)实验中,为了使细线对小车的拉力等于小车所受的合外力,先调节长木板一端滑轮的高度,使细线与长木板平行. 接下来还需要进行的一项操作是　(　　)

A. 将长木板水平放置,让小车连着已经穿过打点计时器的纸带,给打点计时器通电,调节 m 的大小,使小车在砂和砂桶的牵引下运动,从打出的纸带判断小车是否做匀速运动

B. 将长木板的一端垫起适当的高度,让小车连着已经穿过打点计时器的纸带,撤去砂和砂桶,给打点计时器通电,轻推小车,从打出的纸带判断小车是否做匀速运动

C. 将长木板的一端垫起适当的高度,撤去纸带以及砂和砂桶,轻推小车,观察判断小车是否做匀速运动

(2)实验中要进行质量 m 和 M 的选取,以下最合理的一组是　(　　)

A. $M=200$ g,$m=10$ g、15 g、20 g、25 g、30 g、40 g

B. $M=200$ g,$m=20$ g、40 g、60 g、80 g、100 g、120 g

C. $M=400$ g,$m=10$ g、15 g、20 g、25 g、30 g、40 g

D. $M=400$ g,$m=20$ g、40 g、60 g、80 g、100 g、120 g

(3)图 2 是实验中得到的一条纸带,A、B、C、D、E、F、G 为 7 个相邻的计数点,相邻的两个计数点之间还有四个点未画出. 量出相邻的计数点之间的距离分别为:$s_{AB}=4.22\ \text{cm}$、$s_{BC}=4.65\ \text{cm}$、$s_{CD}=5.08\ \text{cm}$、$s_{DE}=5.49\ \text{cm}$、$s_{EF}=5.91\ \text{cm}$、$s_{FG}=6.34\ \text{cm}$. 已知打点计时器的工作频率为 50 Hz,则小车的加速度 $a=$________m/s^2(结果保留 2 位有效数字).

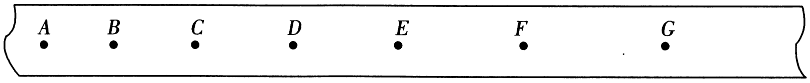


图 2

●解析

[**分析**]

(1)在"验证牛顿第二定律"的实验中,为了使细线对小车的拉力等于小车所受到的合外力,则需要平衡摩擦力,并使细线与长木板平行. 平衡摩擦力的方法是只让小车牵引纸带(撤去砂及砂桶),纸带穿过打点计时器,并垫高长木板不带滑轮的一端,打点计时器接通电源工作. 如果纸带上打出的点迹分布均匀,则说明小车做匀速运动. 故选项 B 正确,选项 A、C 错误.

(2)在"验证牛顿第二定律"的实验中,为使细线对小车的拉力等于砂及砂桶的总重力,则 $M \gg m$,且尽可能地多测几组数据. 故选项 C 最合理.

(3)根据题意,相邻两计数点间的时间间隔为 $T=0.1\ \text{s}$,

根据 $\Delta s=aT^2$,再有"两段法",可得小车的加速度

$$a=\frac{s_{DE}+s_{EF}+s_{FG}-(s_{AB}+s_{BC}+s_{CD})}{9T^2}=0.42\ \text{m/s}^2.$$

[**答案**]

(1)B (2)C (3)0.42

[**感悟方法**]

在研究牛顿第二定律实验中,运用了两个方法:

1. **近似法**:绳对小车的拉力近似等于绳另一端连接的小盘和砝码的总重力,近似法要在小盘和砝码的总重力远小于小车的重力的情况下才能用. 具体推理如下:

以小车、小盘和砝码整体为研究对象得 $mg=(M+m)a$;

●解析

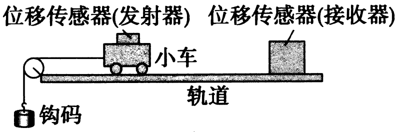
以小车为研究对象得 $F=Ma$；求得 $F=\frac{M}{M+m}\cdot mg=\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\cdot mg\approx mg$；

可得 $m\ll M$.

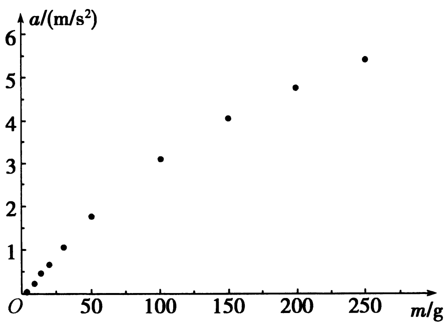
2. **平衡法**：为了使小车受到的合外力等于绳对小车的拉力，通过调整斜面倾角，让小车重力沿斜面的分力与摩擦力抵消.

题型2：用传感器来研究牛顿第二定律

【例2】(2014·全国卷Ⅰ)某同学利用如图(a)所示实验装置及数字化信息系统获得了小车加速度 a 与钩码的质量 m 的对应关系图，如图(b)所示. 实验中小车(含发射器)的质量为200 g，实验时选择了不可伸长的轻质细绳和轻定滑轮，小车的加速度由位移传感器及与之相连的计算机得到. 回答下列问题：



图(a)



图(b)

(1)根据该同学的结果，小车的加速度与钩码的质量成________(填“线性”或“非线性”)关系.

(2)由图(b)可知，a-m 图线不经过原点，可能的原因是________________________.

(3)若利用本实验装置来验证“在小车质量不变的情况下，小车的加速度与作用力成正比”的结论，并直接以钩码所受重力 mg 作为小车受到的合外力，则实验中应采取的改进措施是________________________，钩码的质量应满足的条件是________________________.

●解析

[**分析**]

(1)根据图中描出的各点作出的图象不是一条直线可知,故小车的加速度和钩码的质量成非线性关系.

(2)图象不过原点,小车受到拉力但没有加速度,原因是还有摩擦力的影响,说明未平衡摩擦力或倾角过小,没有完全平衡摩擦力.

(3)平衡摩擦力之后,在满足钩码质量远小于小车质量的条件下,可以得出在小车质量不变的情况下拉力与加速度成正比的结论.

[**答案**]

(1)非线性 (2)未平衡摩擦力 (3)调节轨道的倾斜度以平衡摩擦力 远小于小车的质量

[**感悟方法**]

在牛顿第二定律实验中,引起系统误差的原因有:小车与斜面的摩擦力以及钩码的质量与小车质量的关系.

如果未平衡摩擦力,那么图线会在 m 轴出现截距;如果没有满足钩码的质量远小于小车的质量,那么图线会发生弯曲.

题型3:用气垫导轨与光电门来研究牛顿第二定律

【例3】某探究学习小组的同学要验证“牛顿第二定律”,他们在实验室组装了一套如图1所示的装置,水平轨道上安装两个光电门,小车上固定有力传感器和挡光板,细线一端与力传感器连接,另一端跨过定滑轮挂上砝码盘. 实验首先保持轨道水平,通过调整砝码盘里砝码的质量让小车做匀速运动以实现平衡摩擦力,再进行后面的操作,并在实验中获得以下测量数据:小车、力传感器和挡光板的总质量 M,平衡摩擦力时砝码和砝码盘的总质量 m_0,挡光板的宽度 d,光电门1和2的中心距离 s.

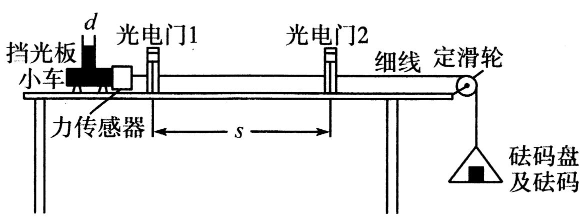


图1

(1)该实验是否需要满足砝码和砝码盘的总质量远小于车的质量？__________（填“需要”或“不需要”）

(2)实验需用游标卡尺测量挡光板的宽度 d，如图 2 所示，$d=$________ mm.

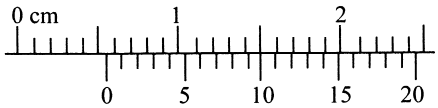


图 2

(3)某次实验过程：力传感器的读数为 F，小车通过光电门 1 和 2 的挡光时间分别为 t_1、t_2（小车通过光电门 2 后，砝码盘才落地），已知重力加速度为 g，则该实验要验证的表达式为________________.

● 解析

［**分析**］

(1)由于实验装置图中已给出了力传感器，所以不需要满足 $m_0 \ll M_{车}$.

(2)$d=5\ \text{mm}+0.05\times10\ \text{mm}=5.50\ \text{mm}$.

(3)小车在光电门 1 处的速度为 $v_1=\dfrac{d}{t_1}$，在光电门 2 处的速度为 $v_2=\dfrac{d}{t_2}$，所以根据

$v_2^2-v_1^2=2as$，可得：$a=\dfrac{v_2^2-v_1^2}{2s}$

由 $F=Ma$ 可知 $F=M\dfrac{\left(\dfrac{d}{t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{t_1}\right)^2}{2s}$.

［**答案**］

(1)不需要　(2)5.50　(3)$F=M\dfrac{\left(\dfrac{d}{t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{t_1}\right)^2}{2s}$

［**感悟方法**］

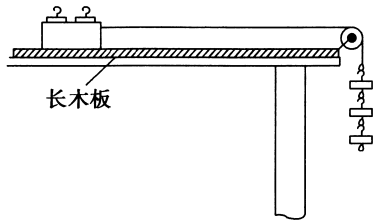
这是一个力学改进型实验题，改进的目的是为了减少“实验误差”：

(1) 通过“气垫导轨”，来减少摩擦力，就可以不用再平衡摩擦力；

(2) 通过“力传感器”来直接测量细线上的拉力，就不用要求“砝码和砝码盘的总质量远小于车的质量”.

题型 4：用整体法来研究牛顿第二定律

【例 4】(2016·全国卷Ⅲ)某物理课外小组利用图(a)中的装置探究物体加速度与其所受合外力之间的关系. 图中,置于实验台上的长木板水平放置,其右端固定一轻滑轮;轻绳跨过滑轮,一端与放在木板上的小滑车相连,另一端可悬挂钩码. 本实验中可用的钩码共有 $N=5$ 个,每个质量均为 0.010 kg. 实验步骤如下:



图(a)

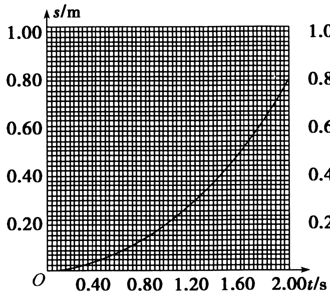
(1)将 5 个钩码全部放入小车中,在长木板左下方垫上适当厚度的小物块,使小车(和钩码)可以在木板上匀速下滑.

(2)将 n(依次取 $n=1,2,3,4,5$)个钩码挂在轻绳右端,其余 $N-n$ 个钩码仍留在小车内;用手按住小车并使轻绳与木板平行. 释放小车,同时用传感器记录小车在时刻 t 相对于其起始位置的位移 s,绘制 s-t 图象,经数据处理后可得到相应的加速度 a.

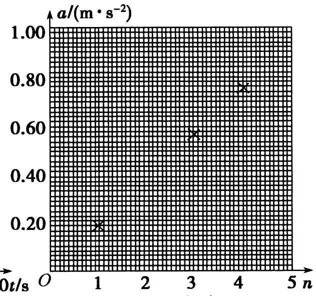
(3)对应于不同的 n 的 a 值见下表. $n=2$ 时的 s-t 图象如图(b)所示;由图(b)求出此时小车的加速度(保留 2 位有效数字),将结果填入下表.

n	1	2	3	4	5
$a/(\mathrm{m\cdot s^{-2}})$	0.20		0.58	0.78	1.00

(4)利用表中的数据在图(c)中补齐数据点,并作出 a-n 图象. 从图象可以看出:当物体质量一定时,物体的加速度与其所受的合外力成正比.



图(b)



图(c)

(5)利用 a-n 图象求得小车(空载)的质量为________kg(保留2位有效数字,重力加速度取 $g=9.8\ m\cdot s^{-2}$).

(6)若以"保持木板水平"来代替步骤(1),下列说法正确的是________(填入正确选项前的标号).

A. a-n 图线不再是直线

B. a-n 图线仍是直线,但该直线不过原点

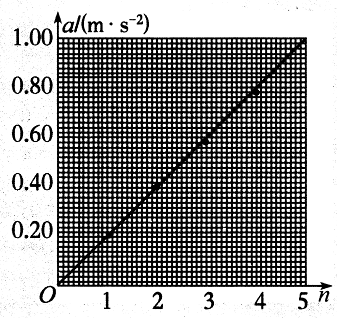
C. a-n 图线仍是直线,但该直线的斜率变大

● 解析

[分析]

(3)因为小车做初速度为零的匀加速直线运动,故在图 b 中任选一组数据代入公式 $s=\frac{1}{2}at^2$,可得 $a=0.40\ m/s^2$.

(4)将 $n=2,3,5$ 时的点描到图 c 中,再连线.



(5)当挂 n 个钩码时,由牛顿第二定律方程可得 $nmg=(5m+M)a$,故有 $a=\frac{mg}{5m+M}\cdot n$,则 a-n 图象斜率 $k=\frac{mg}{5m+M}=\frac{\Delta a}{\Delta n}$,可得 $M=0.45$ kg.

(6)如果不平衡摩擦力,则有 $nmg-\mu[(5-n)m+M]g=(5m+M)a$,得 $a=\frac{(1+\mu)mg}{5m+M}\cdot n-\mu g$,说明图线仍为直线,但不再过原点,并且斜率增大,B、C 正确.

[答案]

(3)0.40(0.37~0.41 均可) (4)如解析图所示 (5)0.45(0.43~0.47 均可)

(6)BC

● 解析

[**感悟方法**]

除了通过改变实验仪器(比如"光电门""传感器""气垫导轨")来减少实验误差外,还可以通过改进实验原理来减少实验误差.本题将小车和钩码看作整体来处理,就可以不用满足"钩码的质量远小于小车的质量"的要求.

实战演练

1.(2013·天津卷)某实验小组利用如图1所示的装置探究加速度与力、质量的关系.

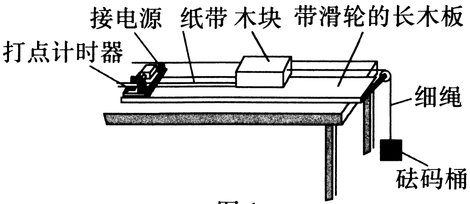


图 1

(1)下列做法正确的是 ________ (填字母代号).

A. 调节滑轮的高度,使牵引木块的细绳与长木板保持平行

B. 在调节木板倾斜度平衡木块受到的滑动摩擦力时,将装有砝码的砝码桶通过定滑轮拴在木块上

C. 实验时,先放开木块再接通打点计时器的电源

D. 通过增减木块上的砝码改变质量时,不需要重新调节木板倾斜度

(2)为使砝码桶及桶内砝码的总重力在数值上近似等于木块运动时受到的拉力,应满足的条件是砝码桶及桶内砝码的总质量________木块和木块上砝码的总质量.(选填"远大于""远小于"或"近似等于")

(3)甲、乙两同学在同一实验室,各取一套图示的装置放在水平桌面上,木块上均不放砝码,在没有平衡摩擦力的情况下,研究加速度 a 与拉力 F 的关系,分别得到图2中甲、乙两条直线.设甲、乙用的木块质量分别为 $m_{甲}$、$m_{乙}$,甲、乙用的木块与木板间的动摩擦因数分别为 $\mu_{甲}$、$\mu_{乙}$,由图可知,$m_{甲}$________ $m_{乙}$,$\mu_{甲}$________ $\mu_{乙}$.(选填"大于""小于"或"等于")

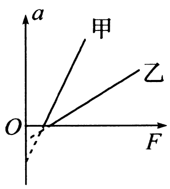


图 2

2.(2012·全国卷)图1为验证牛顿第二定律的实验装置示意图.图中打点计时器的电源为50 Hz的交流电源,打点的时间间隔用Δt表示.在小车质量未知的情况下,某同学设计了一种方法用来探究"在外力一定的条件下,物体的加速度与其质量间的关系".

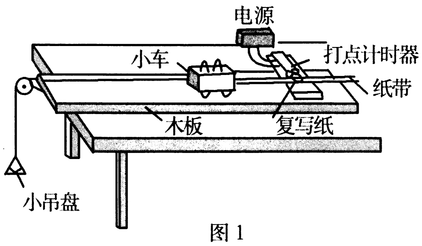


图1

(1)完成下列实验步骤中的填空:

①平衡小车所受的阻力:小吊盘中不放物块,调整木板右端的高度,用手轻拨小车,直到打点计时器打出一系列________的点.

②按住小车,在小吊盘中放入适当质量的物块,在小车中放入砝码.

③打开打点计时器电源,释放小车,获得带有点列的纸带,在纸带上标出小车中砝码的质量m.

④按住小车,改变小车中砝码的质量,重复步骤③.

⑤在每条纸带上清晰的部分,每5个间隔标注一个计数点.测量相邻计数点的间距$s_1,s_2,\cdots$.求出与不同m相对应的加速度a.

⑥以砝码的质量m为横坐标,$\frac{1}{a}$为纵坐标,在坐标纸上作出$\frac{1}{a}$-m关系图线.若加速度与小车和砝码的总质量成反比,则$\frac{1}{a}$与m应成________关系(填"线性"或"非线性").

(2)完成下列填空:

①本实验中,为了保证在改变小车中砝码的质量时,小车所受的拉力近似不变,小吊盘和盘中物块的质量之和应满足的条件是________________.

②设纸带上三个相邻计数点的间距为s_1、s_2和s_3.a可用s_1、s_3和Δt表示为$a=$________.图2为用米尺测量某一纸带上的s_1、s_3的情况,由图可读出$s_1=$________mm,$s_3=$________mm,由此求得加速度的大小$a=$________m/s^2.

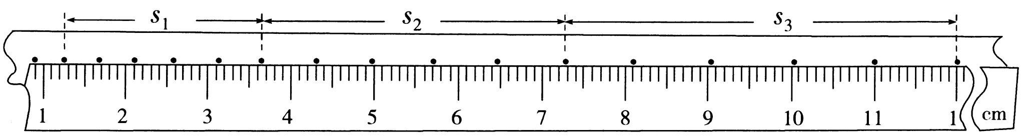


图 2

③图 3 为所得实验图线的示意图. 设图中直线的斜率为 k,在纵轴上的截距为 b,若牛顿定律成立,则小车受到的拉力为__________,小车的质量为__________.

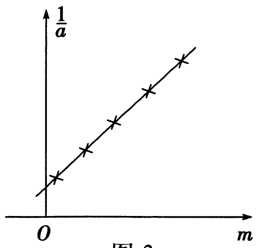


图 3

3. (2010 · 山东卷)某同学设计了如图 1 所示的装置来探究加速度与力的关系. 弹簧测力计固定在一合适的木板上,桌面的右边缘固定一支表面光滑的铅笔以代替定滑轮,细绳的两端分别与弹簧测力计的挂钩和矿泉水瓶连接,在桌面上画出两条平行线 MN、PQ,并测出间距 d. 开始时将木板置于 MN 处,现缓慢向瓶中加水,直到木板刚刚开始运动为止,记下弹簧测力计的示数 F_0,以此表示滑动摩擦力的大小. 再将木板放回原处并按住,继续向瓶中加水后,记下弹簧测力计的示数 F_1,然后释放木板,并用停表记下木板运动到 PQ 处的时间 t.

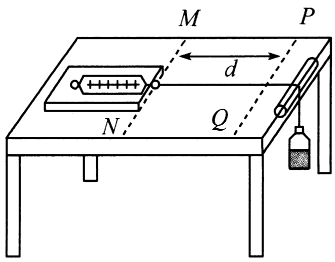


图 1

(1)木板的加速度可以用 d、t 表示为 $a=$________;为了减小测量加速度的偶然误差可以采用的方法是(一种即可)____________________.

(2)改变瓶中水的质量重复实验,确定加速度 a 与弹簧测力计示数 F_1 的关系. 如图 2 所示图象能表示该同学实验结果的是________.

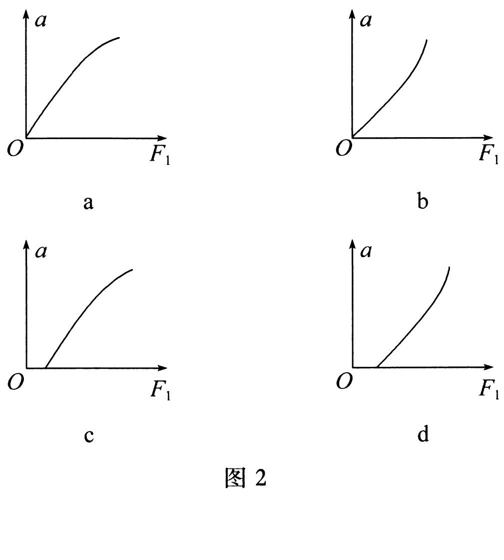


图 2

(3)用加水的方法改变拉力的大小与挂钩码的方法相比,它的优点是________.

a. 可以改变滑动摩擦力的大小

b. 可以更方便地获取多组实验数据

c. 可以比较精确地测出摩擦力的大小

d. 可以获得更大的加速度以提高实验精度

4. (2009·上海卷)如图1所示为"用DIS(位移传感器、数据采集器、计算机)研究加速度和力的关系"的实验装置.

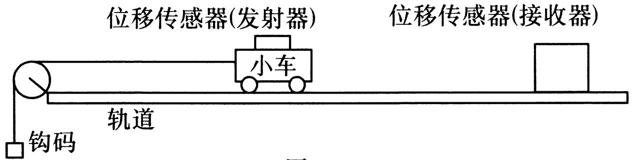


图1

(1)在该实验中必须采用控制变量法,应保持______________不变,用钩码所受的重力作为______________,用DIS测小车的加速度.

(2)改变所挂钩码的数量,多次重复测量. 在某次实验中根据测得的多组数据可画出 a-F 关系图线(如图2所示).

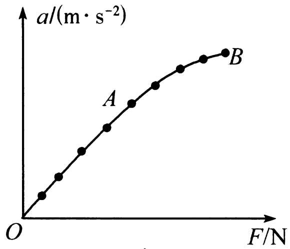


图2

①分析此图线的 OA 段可得出的实验结论是________________________.

②此图线的 AB 段明显偏离直线,造成此误差的主要原因是　(　　)

A. 小车与轨道之间存在摩擦　　B. 导轨保持了水平状态

C. 所挂钩码的总质量太大　　D. 所用小车的质量太大

专题五　研究平抛运动

典例剖析

题型1：利用“投影法”来描绘平抛运动的轨迹

【例1】(2014·安徽卷)如图1所示是“研究平抛物体运动”的实验装置图,通过描点画出平抛小球的运动轨迹.

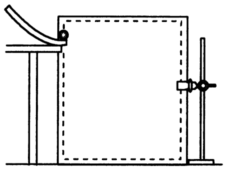


图1

(1)以下是实验过程中的一些做法,其中合理的有________.

a.安装斜槽轨道,使其末端保持水平

b.每次小球释放的初始位置可以任意选择

c.每次小球应从同一高度由静止释放

d.为描出小球的运动轨迹,描绘的点可以用折线连接

(2)实验得到平抛小球的运动轨迹,在轨迹上取一些点,以平抛起点 O 为坐标原点,测量它们的水平坐标 x 和竖直坐标 y,图2中 y-x^2 图象能说明平抛小球运动轨迹为抛物线的是________.

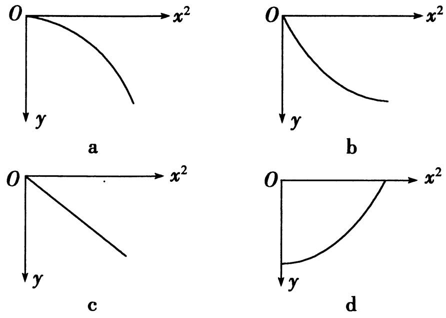


图2

(3)图3是某同学根据实验画出的平抛小球的运动轨迹,O 为平抛的起点,在轨迹上任取三点 A、B、C,测得 A、B 两点竖直坐标 y_1 为5.0 cm、y_2 为45.0 cm,A、B 两点水平间距 Δx 为40.0 cm.则平抛小球的初速度 v_0 为________m/s,若 C 点的竖直坐标 y_3 为60.0 cm,则小球在 C 点的速度 v_C 为________m/s(结果保留两位有效数字,g 取10 m/s^2).

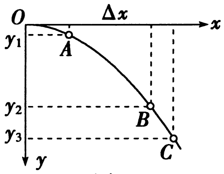


图3

●解析

［分析］

(1)“研究平抛物体运动”的实验斜槽轨道末端保持水平是为了保证初速度水平.从同一高度由静止释放是为了保证每次抛出的水平初速度相同；故 a、c 正确.

(2)由平抛物体运动规律：$x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$ 得：$y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$，即 y-x^2 图象是一条倾斜直线，故 c 正确.

(3)由于 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 得 $t=\sqrt{\frac{2y}{g}}$，

则 $t_1=0.1\ \text{s}$、$t_2=0.3\ \text{s}$，所以平抛小球的初速度 $v_0=\frac{\Delta x}{t_2-t_1}=2.0\ \text{m/s}$，

而 $v_{Cy}=\sqrt{2gy_3}=2\sqrt{3}\ \text{m/s}$，故 C 点的速度 $v_C=\sqrt{v_0^2+v_{Cy}^2}=4.0\ \text{m/s}$.

［答案］

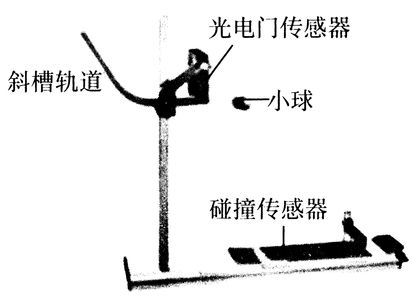
(1)ac　(2)c　(3)2.0　4.0

［感悟方法］

1. **实验需要满足的条件**：一是斜槽轨道末端保持切线水平；二是每次释放小球时均要从同一高度由静止释放.
2. **求解初速度与某一点的速度**：求解的基本方法是运动的合成与分解.具体来讲，平抛运动可以分解成水平方向上的匀速直线运动与竖直方向上的自由落体运动.在求解过程中某一点速度时，再利用运动的合成方法.

题型2：运用传感器辅助研究平抛运动

【例2】(2013·上海卷)如图所示，研究平抛运动规律的实验装置放置在水平桌面上，利用光电门传感器和碰撞传感器可测得小球的水平初速度和飞行时间，底板上的标尺可以测得水平位移.保持水平槽口距底板高度 $h=0.420\ \text{m}$ 不变.改变小球在斜槽导轨上下滑的起始位置，测出小球做平抛运动的初速度 v_0、飞行时间 t 和水平位移 d，记录在表中.



(1)由表中数据可知，在 h 一定时，小球水平位移 d 与其初速度 v_0 成________关系，与________无关.

v_0(m/s)	0.741	1.034	1.318	1.584
t(ms)	292.7	293.0	292.8	292.9
d(cm)	21.7	30.3	38.6	46.4

(2)一位同学计算出小球飞行时间的理论值 $t_{理}=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times0.420}{10}}$ ms = 289.8 ms，发现理论值与测量值之差约为 3 ms. 经检查，实验及测量无误，其原因是____________________.

(3)另一位同学分析并纠正了上述偏差后，另做了这个实验，竟发现测量值 t' 依然大于自己得到的理论值 $t'_{理}$，但二者之差在 3 ~ 7 ms 之间，且初速度越大差值越小. 对实验装置的安装进行检查，确认斜槽槽口与底座均水平，则导致偏差的原因是__________________________________.

● 解析

[**分析**]

(1)由表中数据可知，在 h 一定时，小球水平位移 d 与其初速度 v_0 成正比关系，与时间 t 无关.

(2)计算小球飞行时间的理论值 $t_{理}=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times0.420}{10}}$ ms = 289.8 ms 中，g 不能取值 10 m/s²，应该取值 g = 9.8 m/s²，这样计算出的 t = 292.8 ms.

(3)光电门传感器置于槽口的内侧，传感器的中心离水平槽口（小球开始做平抛运动的位置）还有一段很小的距离，小球经过传感器到小球到达抛出点还有一段很小的时间，而且速度越大，该时间越短.

[**答案**]

(1)正比　t

(2)g 取值 10 m/s²　偏大

(3)光电门传感器置于槽口的内侧，传感器的中心离水平槽口还有一段很小的距离

[**感悟方法**]

1. **表格数据的分析：**表格数据分析的基本方法是“控制变量法”. 本题中时间 t 基本不变，发现小球水平位移 d 与其初速度 v_0 成正比关系.

2. **实验中 g 的取值：**一般地，为了计算方便，我们往往取 g = 10 m/s²，但在实验中，我们必须取 g = 9.8 m/s².

题型3：碰板法描绘平抛运动的轨迹

【例3】(2006·广东卷)某同学设计了一个研究平抛运动的实验.实验装置示意图如图1所示，A是一块平面木板，在其上等间隔地开凿出一组平行的插槽(图1中P_0P_0'、$P_1P_1'\cdots$)，槽间距离均为d.把覆盖复写纸的白纸铺贴在硬板B上.实验时依次将B板插入A板的各插槽中，每次让小球从斜轨的一同位置由静止释放.每打完一点后，把B板插入后一槽中并同时向纸面内侧平移距离d.实验得到小球在白纸上打下的若干痕迹点，如图2所示.

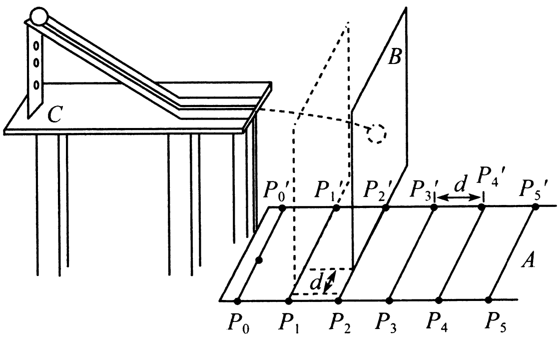


图1

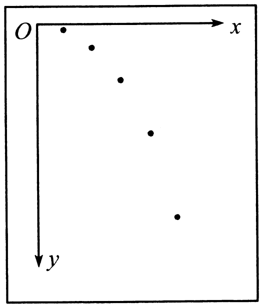


图2

(1)实验前应对实验装置反复调节，直到____________.每次让小球从同一位置由静止释放，是为了________________________.

(2)每次将B板向内侧平移距离，是为了________________________.

(3)在图2中绘出小球做平抛运动的轨迹.

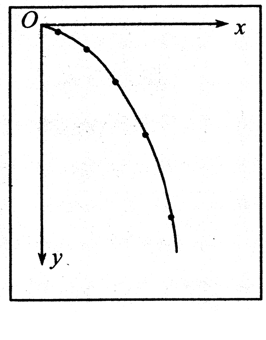
●解析

[分析]

(1)为了保证小球从斜槽末端开始做平抛运动，就得使斜槽末端保持水平；据机械能守恒定律$mgh=\frac{mv^2}{2}$可知，当小球释放高度相同时，小球每次运动到斜槽末端都可以获得相同速度.

(2)往后平移d是为了保证相邻点迹的时间相同，往内平移d是为了获得图中的相同水平距离.

(3)让尽量多的点落在平抛运动的轨迹上，不在轨迹上的点，在轨迹两侧分布均匀，可描绘出的轨迹如图所示.



● 解析

[**答案**]

(1)斜槽末端水平　保持小球水平抛出的初速度相同

(2)保持相邻痕迹点的水平距离大小相同

(3)如解析图所示

[**感悟方法**]

1. **情景的转换方法**:本题最精彩之处在于运用了情景的转换方法,让原来难以描绘的"点"直接转化为小球与板的碰撞点,木板往外平移 d 是为了保证相邻点迹的时间相同,木板往内平移 d 是为了获得图中的相同水平距离.

2. **轨迹的描绘方法**:描绘轨迹的方法与根据描点作图的方法相同. 去除奇异点,让尽量多的点落在平抛运动的轨迹上,不在轨迹上的点,在轨迹两侧分布均匀.

实战演练

1. (2009 · **全国卷**Ⅱ)某同学用如图 1 所示装置做"研究平抛运动"的实验,根据实验结果在坐标纸上描出了小球水平抛出后的运动轨迹,但不慎将画有轨迹图线的坐标纸丢失了一部分,剩余部分如图 2 所示. 图 2 中水平方向与竖直方向每小格的长度均代表 0. 10 m, P_1、P_2 和 P_3 是轨迹图线上的 3 个点,P_1 和 P_2、P_2 和 P_3 之间的水平距离相等.

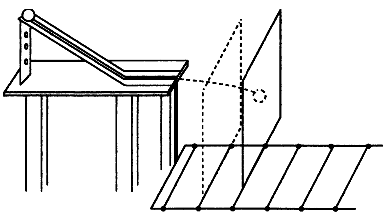


图 1

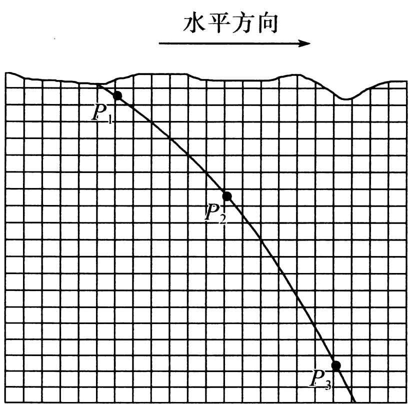


图 2

完成下列填空:(重力加速度取9.8 m/s^2)

(1)设 P_1、P_2 和 P_3 的横坐标分别为 x_1、x_2 和 x_3,纵坐标分别为 y_1、y_2 和 y_3,从图2中可读出 $|y_1-y_2|=$________ m, $|y_1-y_3|=$________ m, $|x_1-x_2|=$________ m(保留两位小数).

(2)若已测知抛出后小球在水平方向上做匀速运动.利用(1)中读取的数据,求出小球从 P_1 运动到 P_2 所用的时间为________s,小球抛出后的水平速度为________ m/s(均可用根号表示).

(3)已测得小球抛出前下滑的高度为0.50 m.设 E_1 和 E_2 分别为开始下滑时和抛出时的机械能,则小球从开始下滑到抛出的过程中机械能的相对损失 $\frac{E_1-E_2}{E_1}\times 100\%=$________%(保留两位有效数字).

2.(2017年4月·浙江卷)在研究"平抛运动"实验中.

(1)图1是横挡条卡住平抛小球,用铅笔标注小球最高点,确定平抛运动轨迹的方法,坐标原点应选小球在斜槽末端时的________.

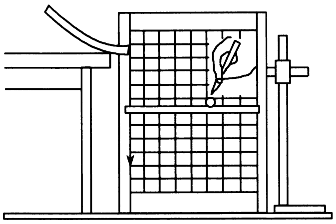


图 1

A.球心　　B.球的上端　　C.球的下端

在此实验中,下列说法正确的是________(多选).

A.斜槽轨道必须光滑

B.记录的点应适当多一些

C.用光滑曲线把所有的点连接起来

D.y 轴的方向根据重垂线确定

(2)图2是利用图1装置拍摄小球做平抛运动的频闪照片,由照片可以判断实验操作错误的是________.

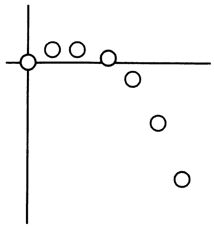


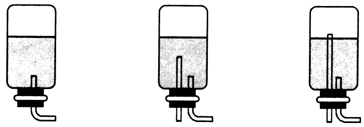
图2

A. 释放小球时初速度不为零

B. 释放小球的初始位置不同

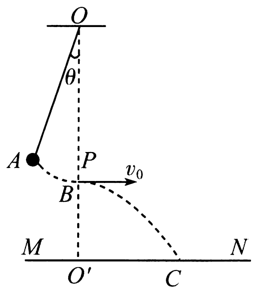
C. 斜槽末端切线不水平

(3)下图是利用稳定的细水柱显示平抛运动轨迹的装置,其中正确的是　　(　　)



A　　B　　C

3.(2007·上海卷)利用单摆验证小球平抛运动规律,设计方案如图(a)所示,在悬点 O 正下方有水平放置的炽热的电热丝 P,当悬线摆至电热丝处时能轻易被烧断;MN 为水平木板,已知悬线长为 L,悬点到木板的距离 $OO'=h(h>L)$.

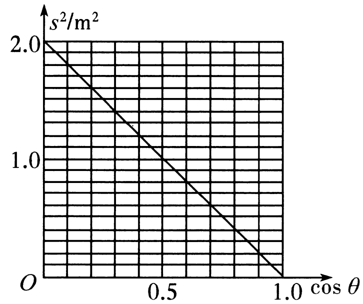


(a)

(1)电热丝 P 必须放在悬点正下方的理由是:________________.

(2)将小球向左拉起后自由释放,最后小球落到木板上的 C 点,$O'C=s$,则小球做平抛运动的初速度为 $v_0=$________.

(3)在其他条件不变的情况下,若改变释放小球时悬线与竖直方向的夹角 θ,小球落点与 O' 点的水平距离 s 将随之改变,经多次实验,以 s^2 为纵坐标、$\cos\theta$ 为横坐标,得到如图(b)所示图象. 则当 $\theta=30°$时,s 为________m;若悬线长 $L=1.0$ m,悬点到木板间的距离 OO' 为________m.



(b)

专题六　探究动能定理

典例剖析

题型1：利用橡皮筋弹射方法来探究动能定理

【例1】如图1所示是某研究性学习小组做探究“橡皮筋做功与物体速度变化的关系”的实验，图中是小车在一条橡皮筋作用下弹出沿木板滑行的情形. 这时，橡皮筋对小车做的功记为 W. 当我们把2条、3条…完全相同的橡皮筋并在一起进行第2次、第3次…实验时，每次橡皮筋都拉伸到同一位置释放. 小车每次实验中获得的速度由打点计时器所打点的纸带测出.

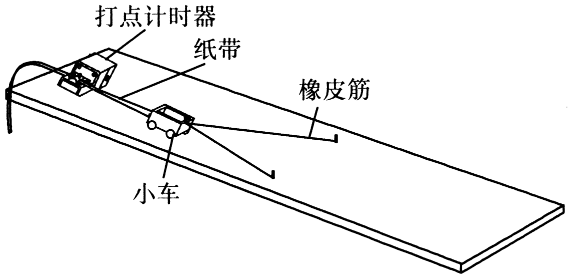


图1

(1)除了图中已给出的实验器材外，还需要的器材有____________________.

(2)实验时为了使小车只在橡皮筋作用下运动，应采取的措施是____________________________.

(3)每次实验得到的纸带上的点并不都是均匀的，为了测量小车获得的速度，应选用纸带的________部分进行测量.

(4)下面是本实验的数据记录表，请将第2次、第3次…实验中橡皮筋做的功填写在对应的位置.

数据 物理量	橡皮筋做的功	10个间距的距离 x(m)	10个间距的时间 T(s)	小车获得的速度 v_n	小车速度的平方 v_n^2
1	W	0.200	0.2		
2		0.280	0.2		
3		0.300	0.2		
4		0.400	0.2		
5		0.450	0.2		

(5)从理论上讲,橡皮筋做的功 W_n 和物体速度 v_n 变化的关系应是 $W_n \propto$ ________,请你根据表中测定的数据在如图 2 所示的坐标系中作出相应的图象验证理论的正确性.

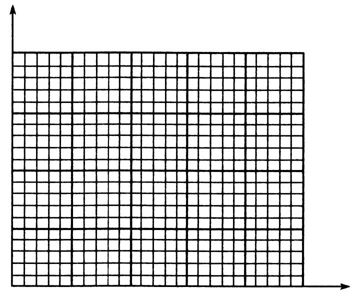


图 2

(6)若在实验中你作出的图线与理论的推测不完全一致,你处理这种情况的做法是 ____.

●解析

[**分析**]

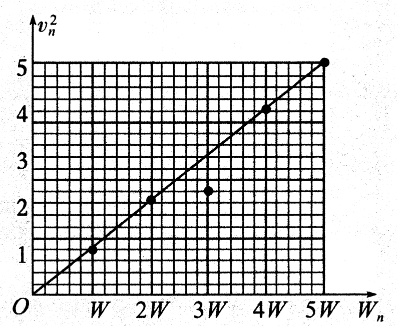
(1)计算小车速度需要测量纸带上的点的距离,要用刻度尺.

(2)要让小车在木板上匀速运动,因而木板要倾斜以平衡摩擦力.

(3)小车匀速运动时,纸带上的点的间隔均匀.

(4)橡皮筋每增加一条,对小车做的功就增加 W.

(5)纵坐标表示速度的平方,横坐标表示功,利用描点法描出各组数据对应的点,然后用平滑曲线连线作出 v_n^2-W_n 图象,如图所示.



(6)分析误差来源,改进实验方案或测量手段,重新进行实验.

[**答案**]

(1)刻度尺　(2)把木板的末端垫起适当高度以平衡摩擦力　(3)点距均匀

(4)$2W$　$3W$　$4W$　$5W$　(5)v_n^2　图象见解析图　(6)分析误差来源,改进实验方案或测量手段,重新进行实验

●解析

［**感悟方法**］

1. **倍增法**：不直接计算 W 和 v 的数值，而是采用倍增的方法，具体地说：一根橡皮筋作用在小车上移动距离 s 时做功为 W；两根橡皮筋作用在小车上移动距离 s 时做功应为 $2W$；三根橡皮筋作用在小车上移动距离 s 时做功应为 $3W$，以此类推，简化数据的测量和处理.

2. **化曲为直**：用 W-v^2 图象处理实验数据可得图线为直线，用 W-v 图象来处理得到是曲线，所以选择 W-v^2 来处理，这样更加直观、明了.

题型 2：利用“牛顿第二定律”实验装置来探究动能定理

【例 2】(2017·北京卷) 如图 1 所示，用质量为 m 的重物通过滑轮牵引小车，使它在长木板上运动，打点计时器在纸带上记录小车的运动情况. 利用该装置可以完成“探究动能定理”的实验.

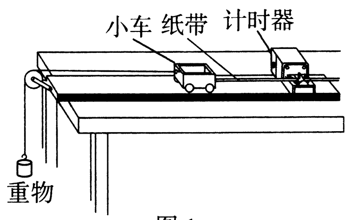


图 1

(1) 打点计时器使用的电源是________（选填选项前的字母）.

A. 直流电源　　　　B. 交流电源

(2) 实验中，需要平衡摩擦力和其他阻力. 正确操作方法是________（选填选项前的字母）.

A. 把长木板右端垫高　　　　B. 改变小车的质量

在不挂重物且________（选填选项前的字母）的情况下，轻推一下小车. 若小车拖着纸带做匀速运动，表明已经消除了摩擦力和其他阻力的影响.

A. 计时器不打点　　　　B. 计时器打点

(3)接通电源，释放小车，打点计时器在纸带上打下一系列点，将打下的第一个点标为 O. 在纸带上依次取 A、B、C…若干个计数点，已知相邻计数点间的时间间隔为 T. 测得 A、B、C…各点到 O 点的距离为 x_1、x_2、x_3…如图 2 所示.

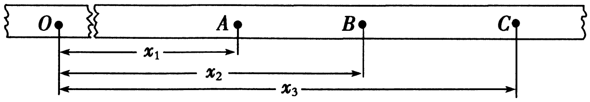


图2

实验中，重物质量远小于小车质量，可认为小车所受的拉力大小为 mg. 从打 O 点到打 B 点的过程中，拉力对小车做的功 W = ______________，打 B 点时小车的速度 v = ________.

(4)以 v^2 为纵坐标，W 为横坐标，利用实验数据作出如图 3 所示的 v^2-W 图象. 由此图象可得 v^2 随 W 变化的表达式为__________________. 根据功与能的关系，动能的表达式中可能包含 v^2 这个因子；分析实验结果的单位关系，与图线斜率有关的物理量应是________________.

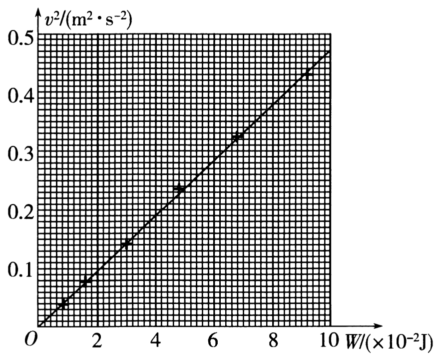


图 3

(5)假设已经完全消除了摩擦力和其他阻力的影响，若重物质量不满足远小于小车质量的条件，则从理论上分析，图 4 中正确反映 v^2-W 关系的是______________.

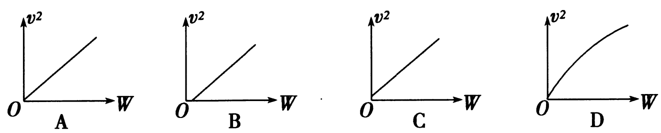


图 4

●解析

[分析]

(1)打点计时器使用交变电流,故应选B.

(2)平衡摩擦力和其他阻力时采用垫高长木板右端,使小车的重力的分力与摩擦力及其他阻力平衡,阻力包含了打点时振针与纸带之间的摩擦,故需要在打点状态下判断是否达到平衡要求.

(3)由做功公式知:$W=mgx_2$;利用匀变速直线运动中间时刻的速度等于这段时间内的平均速度知,B点速度等于AC段的平均速度,即$v_B=\dfrac{x_3-x_1}{2T}$.

(4)根据图线,关系式写为$v^2=kW+b$,在直线上取两点,如$(1.4\times10^{-2},0.07)$ $(8\times10^{-2},0.38)$,代入上式,解得$k\approx4.7$,$b\approx0.004$,在作图误差允许的范围内,表达式可写为$v^2=4.7W$.把功的单位用基本单位表示,$\mathrm{J=N\cdot m=kg\cdot m^2\cdot s^{-2}}$,容易得出与图线斜率有关的物理量单位为$\mathrm{kg^{-1}}$,故与图线斜率有关的物理量应是质量.

(5)若重物质量m不满足远小于小车质量M,则绳子对小车的拉力F实际不等于重物的重力,

由$mg=(M+m)a$和$F=Ma$知

$F=\dfrac{M}{M+m}mg$,

由动能定理得:$Fx=\dfrac{1}{2}Mv^2-0$即$\dfrac{M}{M+m}mgx=\dfrac{1}{2}Mv^2$,

而$W=mgx$,代入整理可得$v^2=\dfrac{2}{M+m}W$,

则实际v^2-W图线的斜率$k=\dfrac{2}{M+m}$不变,所以v^2-W图线是一条过原点的直线,选项A正确.

● 解析

[**答案**]

(1)B (2)A B

(3)mgx_2 $\frac{x_3-x_1}{2T}$

(4)$v^2=kW,k=(4.5\sim5.0)\ m^2\cdot s^{-2}\cdot J^{-1}$ 质量

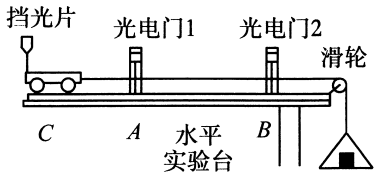
(5)A

[**感悟方法**]

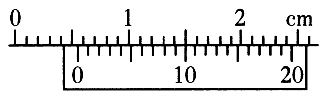
1. **类比迁移法**:本题是利用牛顿第二定律实验装置来探究动能定理,通过比较异同,可知除了实验的原理不同外,其他要求均相同.同样需要平衡滑动摩擦力与满足重物质量 m 远小于小车质量 M.
2. **数形结合法**:本题的第(4)(5)小题均考查了数形结合的方法,对于数形结合,我们要充分挖掘图象的点、线、面、斜率、截距等信息,同时要将图象的信息与物理原理结合起来,通过图象分析物理现象、探究物理原理.

题型3:利用光电门辅助探究动能定理

【例3】某实验小组欲以图甲装置中的小车(含固定在小车上的挡光片)为研究对象来验证"动能定理".他们用不可伸长的细线将小车通过一个定滑轮与砝码盘相连,在水平桌面上的 A、B 两点各安装一个光电门,记录小车通过 A、B 时的遮光时间.若小车质量为 M,砝码盘和盘中砝码的总质量为 m.



甲



乙

(1)实验中,小车所受摩擦力做的功不便测量,故应设法消除摩擦力对小车运动的影响,需要进行的操作是________________.

(2)在完成了(1)的操作后,为确保小车运动中受到的合力与砝码盘和盘中砝码的总重力大致相等,m、M 应满足的关系是________.

(3)用游标卡尺测量挡光片的宽度 d,如图乙所示,则 $d=$________mm;用刻度尺量得 A、B 之间的距离为 L.

(4)将小车停在桌面上的 C 点,在砝码盘中放上砝码,小车在细线拉动下运动,小车通过 A、B 时的遮光时间分别为 t_1、t_2,已知重力加速度为 g,则本实验最终要探究的数学表达式应该是________________(用相应的字母 m、M、t_1、t_2、L、d 表示).

●解析

[**分析**]

(1)木板略微倾斜的目的是平衡摩擦力,小车受到的拉力等于其合力,细线的拉力对小车做的功等于合力对小车做的功.因此取下砝码盘,将木板左端适当垫高,使小车能够沿着木板匀速下滑.

(2)小车运动中受到的合力为 F,则 $F=Ma$,对砝码盘和盘中砝码有 $mg-F=ma$,联立解得 $F=\frac{M}{M+m}\cdot mg$.所以只有 $m\ll M$ 时,才能近似满足 $F=mg$.

(3)游标卡尺的读数:先读出主尺的刻度数为 5 mm,游标尺的第 10 个刻度与上边的刻度对齐,所以读数为 $0.05\times10\ \text{mm}=0.50\ \text{mm}$,总读数为 $(5\ \text{mm}+0.50\ \text{mm})=5.50\ \text{mm}$.

(4)小车通过 A 时的速度 $v_A=\frac{d}{t_1}$,小车通过 B 时的速度 $v_B=\frac{d}{t_2}$,则小车通过 A、B 过程中动能的变化量 $\Delta E=\frac{1}{2}Mv_B^2-\frac{1}{2}Mv_A^2=\frac{1}{2}M\left(\frac{d^2}{t_2^2}-\frac{d^2}{t_1^2}\right)$.砝码盘和盘中砝码受到的重力做功,由动能定理得 $mgL=\Delta E=\frac{1}{2}M\left(\frac{d^2}{t_2^2}-\frac{d^2}{t_1^2}\right)$.

[**答案**]

(1)取下砝码盘,将木板左端适当垫高,使小车能够沿着木板匀速下滑

(2)$m\ll M$　(3)5.50　(4)$mgL=\frac{1}{2}M\left(\frac{d^2}{t_2^2}-\frac{d^2}{t_1^2}\right)$

[**感悟方法**]

近似方法:光电门测量速度的方法,本质上是利用了近似方法.其原理是根据平均速度公式 $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$,当 Δt 足够小时,这段时间内的平均速度可以认为是这段时间内任意时刻的瞬时速度.

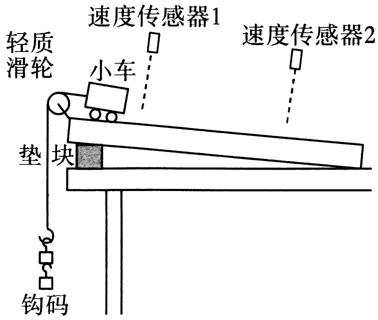
题型4：利用补偿思想消除实验的系统误差

【例4】某实验小组利用如图所示装置进行“探究功与速度变化关系”的实验，实验步骤如下：

A. 挂上钩码，调节长木板的倾角，轻推小车后，使小车能沿长木板向下做匀速运动；

B. 打开速度传感器，取下轻绳和钩码，保持A中调节好的长木板倾角不变，让小车从长木板顶端静止下滑，分别记录小车通过速度传感器1和速度传感器2时的速度大小分别为v_1和v_2；

C. 重新挂上细绳和钩码，改变钩码的个数，重复A到B的步骤.



回答下列问题：

(1)按上述方案做实验，长木板表面粗糙对实验结果是否有影响？________（填“是”或“否”）.

(2)若要验证动能定理的表达式，还需测量的物理量有________.

A. 悬挂钩码的总质量m　　B. 长木板的倾角θ

C. 两传感器间的距离l　　D. 小车的质量M

(3)根据实验所测的物理量，动能定理的表达式为：________________.（重力加速度为g）

●解析

[分析]

(1)小车在重力、斜面弹力、摩擦力、细线拉力作用下处于平衡状态，撤去钩码后小车的合外力大小等于钩码的重力大小，所以长木板表面粗糙对实验结果没有影响.

●解析

(2)钩码的重力大小等于小车受到的合外力,所以悬挂钩码的总质量 m 需要测量;小车合外力做功 $W=mgl$,小车动能的变化为 $\frac{1}{2}M(v_2^2-v_1^2)$,因此两传感器间的距离 l 以及小车的质量 M 均要测量,因此,要测量的物理量有A、C、D.

(3)在撤去钩码后小车受合外力大小等于钩码重力 mg. 由动能定理可得 $mgl=\frac{1}{2}Mv_2^2-\frac{1}{2}Mv_1^2=\frac{1}{2}M(v_2^2-v_1^2)$.

[**答案**]

(1)否　(2)ACD　(3)$mgl=\frac{1}{2}M(v_2^2-v_1^2)$

[**感悟方法**]

补偿思想:小车在重力、斜面弹力、摩擦力、细线拉力作用下处于平衡状态,撤去钩码后小车的合外力大小等于钩码的重力大小,这个策略不仅消除了摩擦力的影响,而且也不必考虑钩码质量与小车质量的关系,真是个绝妙的设计!

实战演练

1. 为了探究力对物体做功与物体速度变化的关系,现提供如图1所示的器材,让小车在橡皮筋的作用下弹出后,沿木板滑行,请思考并回答下列问题(打点计时器交流电频率为50 Hz):

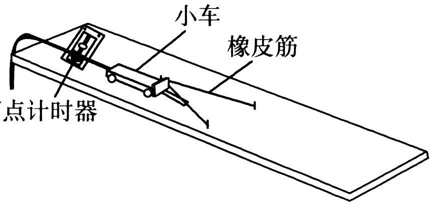


图1

(1)为了消除摩擦力的影响应采取什么措施?

____.

(2)当我们分别用同样的橡皮筋1条、2条、3条…并起来进行第1次、第2次、第3次…实验时,每次实验中橡皮筋拉伸的长度都应保持一致,我们把第1次实验时橡皮筋对小车做的功记为 W.

(3)由于橡皮筋对小车做功而使小车获得的速度可以由打点计时器和纸带测出,如图 2 所示是其中四次实验打出的部分纸带.

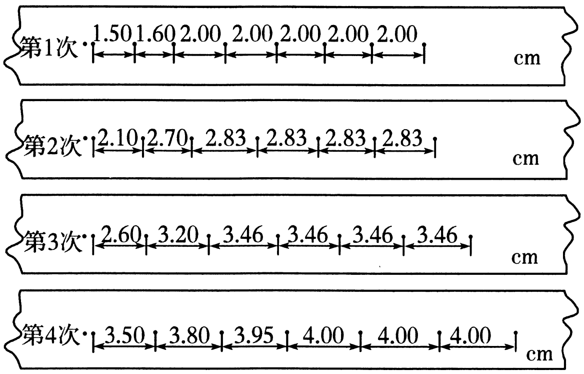


图2

(4)试根据(2)、(3)中的信息,填写下表.

次数	1	2	3	4
橡皮筋对小车做的功	W			
小车速度 v(m/s)				
v^2(m^2/s^2)				

从表中数据可得出结论:____.

2.(2017·江苏卷)利用如图 1 所示的实验装置探究恒力做功与物体动能变化的关系. 小车的质量为 $M = 200.0$ g,钩码的质量为 $m = 10.0$ g,打点计时器的电源为 50 Hz 的交流电.

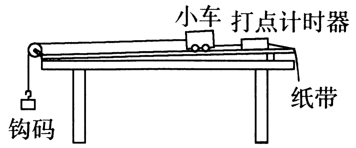


图 1

(1)挂钩码前,为了消除摩擦力的影响,应调节木板右侧的高度,直至向左轻推小车观察到________________.

(2)挂上钩码,按实验要求打出的一条纸带如图 2 所示. 选择某一点为 O,依次每隔 4 个计时点取一个计数点. 用刻度尺量出相邻计数点间的距离 Δx,记录在纸带上. 计算打出各计数点时小车的速度 v,其中打出计数点“1”时小车的速度 $v_1 =$ ________ m/s.

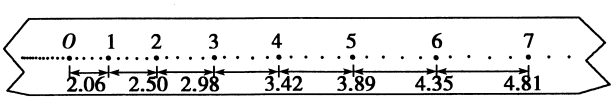


图 2 (单位: cm)

(3)将钩码的重力视为小车受到的拉力,取 $g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$,利用 $W=mg\Delta x$ 算出拉力对小车做的功 W. 利用 $E_k=\frac{1}{2}Mv^2$ 算出小车的动能,并求出动能的变化量 ΔE_k. 计算结果见下表.

$W/(\times10^{-3}\ \mathrm{J})$	2.45	2.92	3.35	3.81	4.26
$\Delta E_k/(\times10^{-3}\ \mathrm{J})$	2.31	2.73	3.12	3.61	4.00

请根据表中的数据,在方格纸上作出 ΔE_k-W 图象.

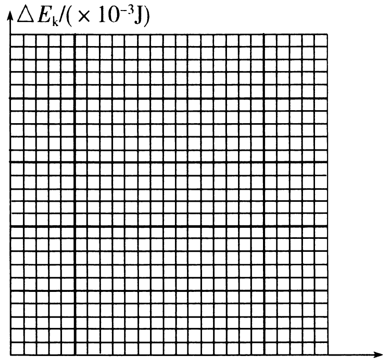


图 3

(4)实验结果表明,ΔE_k 总是略小于 W. 某同学猜想是由于小车所受拉力小于钩码重力造成的. 用题中小车和钩码质量的数据可算出小车受到的实际拉力 $F=$________N.

3. 某实验小组利用拉力传感器和速度传感器来探究动能定理. 如图 1 所示,他们将拉力传感器固定在小车上,用不可伸长的细线将其通过一个定滑轮与钩码相连,用拉力传感器记录小车受到的拉力的大小. 在水平桌面上相距 50.0 cm 的 A、B 两点各安装一个速度传感器,记录小车通过 A、B 时的速度大小. 小车中可以放置砝码.

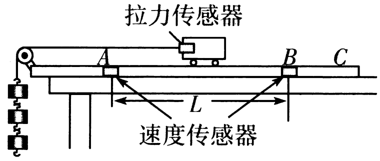


图1

(1)实验主要步骤如下:

①测量________和拉力传感器的总质量 m_1;把细线的一端固定在拉力传感器上,另一端通过定滑轮与钩码相连;正确连接所需装置.

②将小车停在 C 点，接通电源，________________，小车在细线拉动下运动，记录细线拉力及小车通过 A、B 时的速度.

③在小车中增加砝码或________，重复②的操作.

(2)如表是他们测得的几组数据，其中 m 是 m_1 与小车中砝码质量之和，$|v_2^2-v_1^2|$ 是两个速度传感器所记录速度的二次方差的绝对值，可以据此计算出动能变化量 ΔE_k，F 是拉力传感器受到的拉力，W 是 F 在 A、B 间所做的功. 表格中的 ΔE_{k3} = ________J，W_3 = ________J.（结果保留三位有效数字）

数据记录表

次数	m/kg	$\lvert v_2^2-v_1^2\rvert$/($m^2\cdot s^{-2}$)	ΔE_k/J	F/N	W/J
1	0.500	0.760	0.190	0.400	0.200
2	0.500	1.650	0.413	0.840	0.420
3	0.500	2.400	ΔE_{k3}	1.220	W_3
4	1.000	2.400	1.200	2.420	1.210
5	1.000	2.840	1.420	2.860	1.430

(3)根据表中数据在图2中的坐标纸上作出 ΔE_k-W 图线.

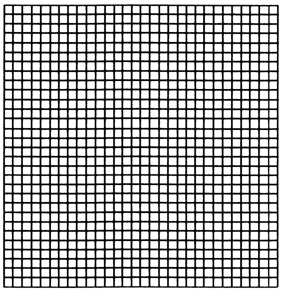
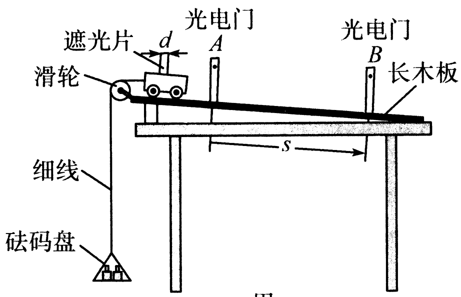


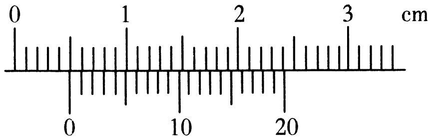
图2

4. 用如图甲所示的实验装置完成"探究功与速率变化关系"实验. 请补充完整下列实验步骤的相关内容：



甲

(1)用天平测量小车和遮光片的总质量 M、砝码盘的质量 m_0;用游标卡尺测量遮光片的宽度 d,游标卡尺的示数如图乙所示,其读数为________cm;按如图甲所示安装好实验装置,用米尺测量两光电门之间的距离 s.



乙

(2)在砝码盘中放入适量砝码;适当调节长木板的倾角,直到轻推小车,遮光片先后经过光电门 A 和光电门 B 的时间相等.

(3)取下细线和砝码盘,记下________________(填写相应物理量及其符号).

(4)让小车从靠近滑轮处由静止释放,用数字毫秒计时器分别测出遮光片经过光电门 A 和光电门 B 所用的时间 Δt_A 和 Δt_B.

(5)步骤(4)中,小车从光电门 A 下滑至光电门 B 过程合外力做的总功 $W_{合}=$________,小车动能变化量 $\Delta E_k=$________________________(用上述步骤中的物理量表示,重力加速度为 g),比较 $W_{合}$ 和 ΔE_k 的值,找出两者之间的关系.

(6)重新挂上细线和砝码盘,改变砝码盘中砝码质量,重复(2)~(5)步骤.

(7)本实验中,以下操作或要求是为了减小实验误差的是________.

A. 尽量减小两光电门间的距离 s

B. 调整滑轮,使细线与长木板平行

C. 砝码和砝码盘的总质量远小于小车的质量

专题七 验证机械能守恒定律

典例剖析

题型1：利用自由落体来验证机械能守恒定律

【例1】(2016·北京卷)利用如图1所示装置做“验证机械能守恒定律”实验.

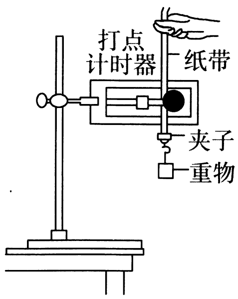


图1

(1)为验证机械能是否守恒,需要比较重物下落过程中任意两点间的________.

A. 动能变化量与势能变化量

B. 速度变化量与势能变化量

C. 速度变化量与高度变化量

(2)除带夹子的重物、纸带、铁架台(含铁夹)、电磁打点计时器、导线及开关外,在下列器材中,还必须使用的两种器材是________.

A. 交流电源　　B. 刻度尺　　C. 天平(含砝码)

(3)实验中,先接通电源,再释放重物,得到如图2所示的一条纸带. 在纸带上选取三个连续打出的点 A、B、C,测得它们到起始点 O 的距离分别为 h_A、h_B、h_C.

已知当地重力加速度为 g,打点计时器打点的周期为 T. 设重物的质量为 m. 从打 O 点到打 B 点的过程中,重物的重力势能变化量 ΔE_p = ________,动能变化量 ΔE_k = ________.

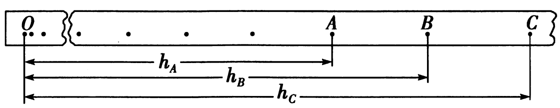


图2

(4) 大多数学生的实验结果显示，重力势能的减少量大于动能的增加量，原因是________.

A. 利用公式 $v=gt$ 计算重物速度

B. 利用公式 $v=\sqrt{2gh}$ 计算重物速度

C. 存在空气阻力和摩擦力阻力的影响

D. 没有采用多次实验取平均值的方法

(5) 某同学想用下述方法研究机械能是否守恒：在纸带上选取多个计数点，测量它们到起始点 O 的距离 h，计算对应计数点的重物速度 v，描绘 v^2-h 图象，并做如下判断：若图象是一条过原点的直线，则重物下落过程中机械能守恒. 请你分析论证该同学的判断依据是否正确.

____

____

____

●解析

［**分析**］

(1) 重物下落过程中重力势能减少，动能增加，故该实验需要比较重物下落过程中任意两点间的动能变化量与势能变化量在误差范围内是否相等，A 正确.

(2) 电磁打点计时器使用的是交流电源，A 正确；需要测纸带上两点间的距离，还需要刻度尺，B 正确；根据 $mgh=\frac{1}{2}mv^2-0$ 可将等式两边的质量抵消，不需要天平，C 错误.

(3) 重物的重力势能变化量为 $\Delta E_p=-mgh_B$，动能的变化量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{h_C-h_A}{2T}\right)^2$.

(4) 重物重力势能的减少量大于动能的增加量，是因为重物下落过程中存在空气阻力和摩擦阻力的影响，C 正确.

(5) 该同学的判断依据不正确，在重物下落 h 的过程中，若阻力 f 恒定，根据能量守恒知 $mgh-fh=\frac{1}{2}mv^2-0$，则 $v^2=2\left(g-\frac{f}{m}\right)h$ 可知，v^2-h 图象就是过原点的一条直线. 要想通过 v^2-h 图象的方法验证机械能是否守恒，还必须看图象的斜率是否接近 $2g$.

●解析

［**答案**］

(1)A (2)AB (3) $-mgh_B$ $\frac{1}{2}m\left(\frac{h_C-h_A}{2T}\right)^2$ (4)C (5)不正确,理由见解析

［**感悟方法**］

对于利用自由落体来验证机械能守恒定律的方法,要特别关注两点:

1. **实验原理**:有两种情况:一是从初始点开始算起,则 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$;另一种是选择过程中的任意两点 A、B,则 $mgh_{AB}=\frac{1}{2}v_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$,其中的 v、v_A、v_B、h、h_{AB}均是从纸带上获得,要特别注意 $g=9.8\ \mathrm{m/s^2}$,而不是从纸带上求出的加速度 a.

2. **数据处理方法**

(1)计算法:通过计算比较重力势能的减少量与动能的增加量是否相等,验证机械能守恒定律时,注意重力加速度的取值和有效数字的保留.一般 $\Delta E_p>\Delta E_k$,否则可能错误.

(2)图象法:通过图象验证机械能是否守恒时,要根据机械能守恒定律写出图象对应的函数表达式,弄清图象斜率的物理意义,如 v^2-h 图象、$\frac{1}{2}v^2$-h 图象、v^2-$2h$ 图象,根据图象求出斜率,计算出重力加速度,计算结果与当地重力加速度比较,根据二者是否在误差允许的范围内近似相等,判断机械能是否守恒.

题型 2: 验证系统机械能守恒定律

【例 2】(2011·海南卷)现要通过实验验证机械能守恒定律.实验装置如图 1 所示:水平桌面上固定一倾斜的气垫导轨;导轨上 A 点处有一带长方形遮光片的滑块,其总质量为 M,左端由跨过轻质光滑定滑轮的细绳与一质量为 m 的砝码相连;遮光片两条长边与导轨垂直;导轨上 B 点有一光电门,可以测量遮光片经过光电门时的挡光时间 t.用 d 表示 A 点到导轨底端 C 点的距离,h 表示 A 与 C 的高度差,b 表示遮光片的宽度,s 表示 A,B 两点的距离,将遮光片通过光电门的平均速度看做滑块通过 B 点时的瞬时速度.用 g 表示重力加速度.完成下列填空和作图:

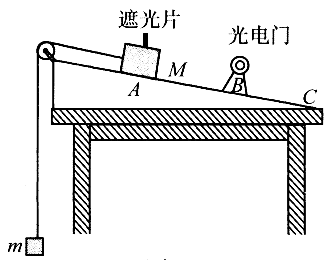


图 1

(1)若将滑块自 A 点由静止释放,则在滑块从 A 运动至 B 的过程中,滑块、遮光片与砝码组成的系统重力势能的减小量可表示为________,动能的增加量可表示为________.若在运动过程中机械能守恒,$\frac{1}{t^2}$与 s 的关系式为$\frac{1}{t^2}$ = ________.

(2)多次改变光电门的位置,每次均令滑块自同一点(A 点)下滑,测量相应的 s 与 t 值,结果如下表所示:

	1	2	3	4	5
s(m)	0.600	0.800	1.000	1.200	1.400
t(ms)	8.22	7.17	6.44	5.85	5.43
$\frac{1}{t^2}$($\times 10^4 s^{-2}$)	1.48	1.95	2.41	2.92	3.39

以 s 为横坐标,$\frac{1}{t^2}$为纵坐标,在图 2 位置的坐标纸中描出第 1 和第 5 个数据点;根据 5 个数据点作直线,求得该直线的斜率 k = ________ $\times 10^4 m^{-1} \cdot s^{-2}$(保留 3 位有效数字).

由测得的 h、d、b、M 和 m 数值可以计算出$\frac{1}{t^2}$-s 直线的斜率 k_0,将 k 和 k_0 进行比较,若其差值在实际允许的范围内,则可认为此实验验证了机械能守恒定律.

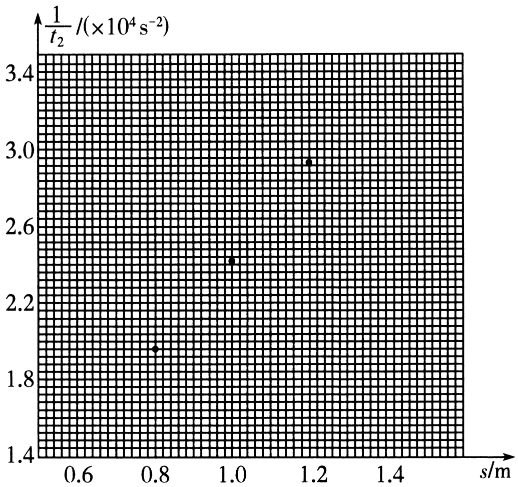


图 2

● 解析

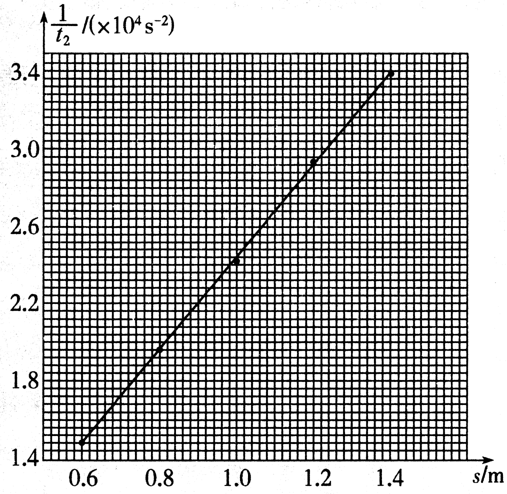
[**分析**]

(1) 重力势能的减少量 $\Delta E_p = Mg\frac{h}{d}s - mgs = \left(\frac{h}{d}M - m\right)gs$,

到达 B 点的速度为 $v_B = \frac{b}{t}$,动能的增加量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}(M+m)v_B^2 = \frac{1}{2}(M+m)\frac{b^2}{t^2}$

若在运动过程中机械能守恒,$\Delta E_p = \Delta E_k$,可得:$\frac{1}{t^2} = \frac{2(hM-dm)g}{(M+m)db^2}s$.

(2) 如图所示,利用实验数据分别进行逐差法得直线斜率为 $2.399 \times 10^4\ \mathrm{m^{-1} \cdot s^{-2}}$,保留3位有效数字为 $2.40 \times 10^4\ \mathrm{m^{-1} \cdot s^{-2}}$.



[**答案**]

(1) $\left(\frac{h}{d}M - m\right)gs$ $\frac{1}{2}(m+M)\frac{b^2}{t^2}$

$\frac{2(hM-dm)g}{(M+m)db^2}s$

(2) 如解析图所示 2.40

[**感悟方法**]

验证系统机械能守恒问题,要注意连接的两个物体之间的两大联系:

1. **高度变化的联系**:一个物体重力势能的改变与高度变化有关,M、m 两物体在运动过程中位移的大小相等,但高度变化的大小并不相同,需要根据几何关系仔细确定.

2. **速度大小的联系**:两个物体连接在一起,速度的关系往往是一个难点.本题中 M、m 两物体的速度大小相等,比较简单,但在有些问题中连接的两个物体的速度大小并不相等,但会存在一定的关联,需要根据关联关系认真确定.

题型 3：利用气垫导轨和光电门来验证机械能守恒

【例 3】(2010·海南卷)利用气垫导轨验证机械能守恒定律，实验装置示意图如图 1 所示：

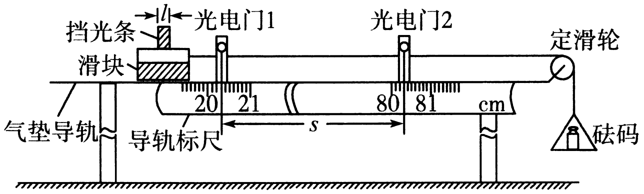


图 1

(1)实验步骤：

①将气垫导轨放在水平桌面上，桌面高度不低于 1 m，将导轨调至水平.

②用游标卡尺测量挡光条的宽度 l，结果如图 2 所示，由此读出 l = ________ mm.

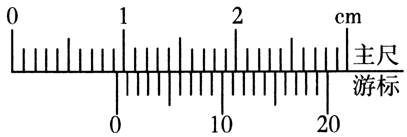


图 2

③由导轨标尺读出两光电门中心之间的距离 s = ________ cm.

④将滑块移至光电门 1 左侧某处，待砝码静止不动时，释放滑块，要求砝码落地前挡光条已通过光电门 2.

⑤从数字计时器(图中未画出)上分别读出挡光条通过光电门 1 和光电门 2 所用的时间 Δt_1 和 Δt_2.

⑥用天平称出滑块和挡光条的总质量 M，再称出托盘和砝码的总质量 m.

(2)用表示直接测量量的字母写出下列所求物理量的表达式：

①滑块通过光电门 1 和光电门 2 时瞬时速度分别为 v_1 = ________ 和 v_2 = ________.

②当滑块通过光电门 1 和光电门 2 时，系统(包括滑块、挡光条、托盘和砝码)的总动能分别为 E_{k1} = ________ 和 E_{k2} = ________.

③在滑块从光电门 1 运动到光电门 2 的过程中，系统势能的减少 ΔE_p = ________(重力加速度为 g).

(3)如果 $\Delta E_p \approx$ ________，则可认为验证了机械能守恒定律.

● 解析

[**分析**]

(1)根据游标卡尺读数规则,挡光条的宽度 $l=9.00\ \text{mm}+0.5\times 6\ \text{mm}=9.30\ \text{mm}$;

两光电门中心之间的距离 $s=80.30\ \text{cm}-20.30\ \text{cm}=60.00\ \text{cm}$.

(2)由于挡光条宽度很小,因此将挡光条通过光电门时的平均速度当作瞬时速度.

滑块通过光电门1时瞬时速度为 $v_1=\dfrac{l}{\Delta t_1}$,通过光电门2时瞬时速度为 $v_2=\dfrac{l}{\Delta t_2}$. 由动能定义式可知,$E_{k1}=\dfrac{1}{2}(M+m)(\dfrac{l}{\Delta t_1})^2$,$E_{k2}=\dfrac{1}{2}(M+m)(\dfrac{l}{\Delta t_2})^2$. 滑块从光电门1运动到光电门2的过程中,系统势能的减少 $\Delta E_p=mgs$.

[**答案**]

(1)② 9.30　③ 60.00(59.96~60.04)

(2)① $\dfrac{l}{\Delta t_1}$　$\dfrac{l}{\Delta t_2}$　② $\dfrac{1}{2}(M+m)(\dfrac{l}{\Delta t_1})^2$　$\dfrac{1}{2}(M+m)(\dfrac{l}{\Delta t_2})^2$　③ mgs

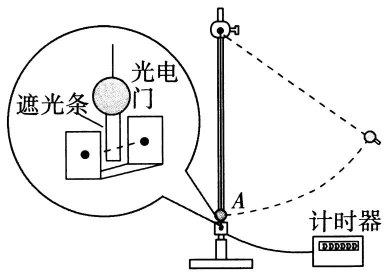
(3) $E_{k2}-E_{k1}$

[**感悟方法**]

把握两个关系. 本题也是验证系统机械能守恒问题,同样要注意高度变化的联系与速度大小的联系:滑块 M 在运动过程中高度不变,托盘和砝码 m 在运动过程中高度下降;M、m 的速度大小相等,由此可见,整个过程为 m(托盘和砝码)的势能减少量等于系统动能的增加量.

题型4:利用圆周运动验证机械能守恒定律

【例4】(2016·江苏卷)某同学用如图甲所示的装置验证机械能守恒定律. 一根细线系住钢球,悬挂在铁架台上,钢球静止于 A 点. 光电门固定在 A 的正下方,在钢球底部竖直地粘住一片宽度为 d 的遮光条. 将钢球拉至不同位置由静止释放,遮光条经过光电门



甲

的挡光时间 t 可由计时器测出，取 $v=\frac{d}{t}$ 作为钢球经过 A 点时的速度. 记录钢球每次下落的高度 h 和计时器示数 t，计算并比较钢球在释放点和 A 点之间的势能变化大小 ΔE_p 与动能变化大小 ΔE_k，就能验证机械能是否守恒.

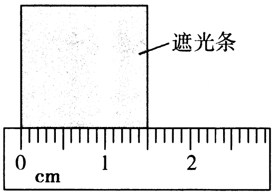
（1）用 $\Delta E_p=mgh$ 计算钢球重力势能变化的大小，式中钢球下落高度 h 应测量释放时的钢球球心到________之间的竖直距离.

A. 钢球在 A 点时的顶端

B. 钢球在 A 点时的球心

C. 钢球在 A 点时的底端

（2）用 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 计算钢球动能变化的大小. 用刻度尺测量遮光条宽度，示数如图乙所示，其读数为________cm. 某次测量中，计时器的示数为 0.010 0 s，则钢球的速度为 $v=$________m/s.



乙

（3）下表为该同学的实验结果：

$\Delta E_p(\times10^{-2}\text{J})$	4.892	9.786	14.69	19.59	29.38
$\Delta E_k(\times10^{-2}\text{J})$	5.04	10.1	15.1	20.0	29.8

他发现表中的 ΔE_p 与 ΔE_k 之间存在差异，认为这是由空气阻力造成的. 你是否同意他的观点？请说明理由.

（4）请你提出一条减小上述差异的改进建议. ________________________________

____

●解析

[分析]

(1)要测量钢球下落的高度,应测量开始位置钢球的球心到钢球在 A 点时球心的竖直距离,B 正确.

(2)根据题图可知,遮光条的宽度 $d=15.0\ \text{mm}=1.50\ \text{cm}$,若某次计时器的时间为 0.010 0 s,则钢球的速度 $v=\frac{d}{t}=1.50\ \text{m/s}$.

(3)由于空气阻力的存在,钢球下落过程中克服空气阻力做功,因此动能的增加量小于重力势能的减少量,而表格中数值表明是动能的增加量大于重力势能的减少量,显然误差不是由于空气阻力造成的,是由于遮光条在钢球的下面,测得的速度比钢球的实际速度大造成的.

(4)分别测出光电门和球心到悬点的长度 L 和 l,计算 ΔE_k,将 v 折算成钢球的速度 $v'=\frac{l}{L}v$.

[答案]

(1)B (2)1.50(1.49~1.51 都算对) 1.50(1.49~1.51 都算对) (3)见解析 (4)见解析

[感悟方法]

1. **物理实验的精确性:**在做物理题时,我们往往抓住问题的主要特征,对一些因素作“近似”“忽略”等处理,建立起理想化模型,这样有助于对复杂问题的简化处理. 而处理实验题时,物理数据要精确. 本题的 h 的测量,速度的计算都体现了这一点.

2. **误差分析的对应关系:**在分析误差时,“冤假错案”不断,只要看到“空气阻力”就武断地认为这就是实验误差的主要原因. 只要一分析实验误差,就直指“摩擦力”等等. 要正确地分析实验误差,一定要与实验原理、实验过程联系起来,才能找到引起每一个误差的真正原因.

实战演练

1.（2017·天津卷）如图1所示，打点计时器固定在铁架台上，使重物带动纸带从静止开始自由下落，利用此装置验证机械能守恒定律.

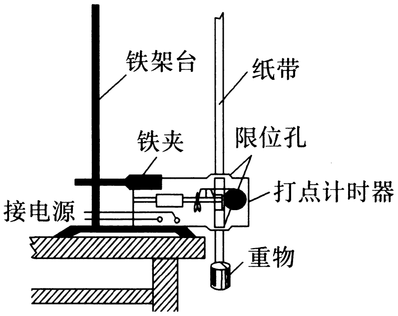


图1

（1）对于该实验，下列操作中对减小实验误差有利的是________.

A. 重物选用质量和密度较大的金属锤

B. 两限位孔在同一竖直面内上下对正

C. 精确测量出重物的质量

D. 用手托稳重物，接通电源后，撤手释放重物

（2）某实验小组利用上述装置将打点计时器接到50 Hz的交流电源上，按正确操作得到了一条完整的纸带，由于纸带较长，图中有部分未画出，如图2所示. 纸带上各点是打点计时器打出的计时点，其中O点为纸带上打出的第一个点. 重物下落高度应从纸带上计时点间的距离直接测出，利用下列测量值能完成验证机械能守恒定律的选项有________.

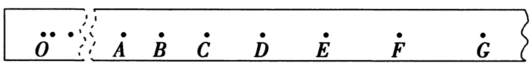
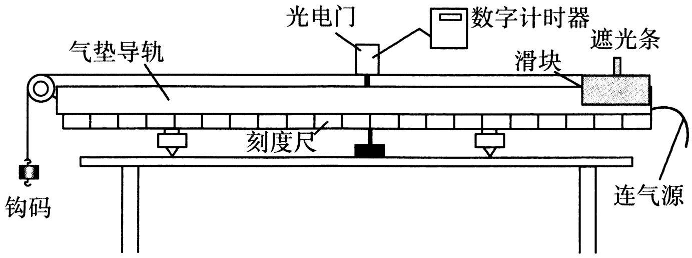


图2

A. OA、AD和EG的长度　　B. OC、BC和CD的长度

C. BD、CF和EG的长度　　D. AC、BD和EG的长度

2. 某实验小组利用如图所示的实验装置来验证钩码和滑块所组成的系统机械能守恒，装置中的气垫导轨工作时可使滑块悬浮起来，以减小滑块运动过程中的阻力. 实验前已调整气垫导轨底座保持水平，实验中测量出的物理量有：钩码的质量m、滑块的质量M、滑块上遮光条由图示初始位置到光电门的距离x.

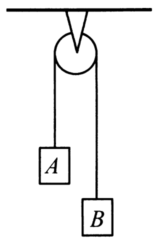


(1)若用游标卡尺测得遮光条的宽度为 d,实验时挂上钩码,将滑块从图示初始位置由静止释放,由数字计时器读出遮光条通过光电门的时间 Δt,则可计算出滑块经过光电门时的速度为________.

(2)要验证系统的机械能守恒,除了已经测量出的物理量外还需要已知______________.

(3)本实验通过比较____________和____________在实验误差允许的范围内相等(用物理量符号表示),即可验证系统的机械能守恒.

3.(2008·全国卷)如图所示,两个质量各为 m_1 和 m_2 的小物块 A 和 B,分别系在一条跨过定滑轮的软绳两端,已知 $m_1 > m_2$,现要利用此装置验证机械能守恒定律.



(1)若选定物块 A 从静止开始下落的过程中进行测量,则需要测量的物理量有________.

①物块的质量 m_1、m_2;

②物块 A 下落的距离及下落这段距离所用的时间;

③物块 B 上升的距离及上升这段距离所用的时间;

④绳子的长度.

(2)为提高实验结果的准确程度,某小组同学对此实验提出以下建议:

①绳的质量要轻;

②在"轻质绳"的前提下,绳子越长越好;

③尽量保证物块只沿竖直方向运动,不要摇晃;

④两个物块的质量之差要尽可能小.

以上建议中确实对提高准确程度有作用的是________.

(3)写出一条上面没有提到的对提高实验结果准确程度有益的建议:____.

4. (2008·江苏卷)某同学利用如图1所示的实验装置验证机械能守恒定律. 弧形轨道末端水平,离地面的高度为 H. 将钢球从轨道的不同高度 h 处静止释放,钢球的落点距轨道末端的水平距离为 s.

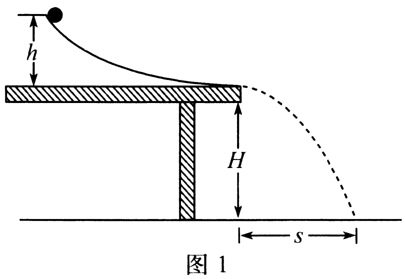


图 1

(1)若轨道完全光滑,s^2 与 h 的理论关系应满足 s^2 = ____________(用 H、h 表示).

(2)该同学经实验测量得到一组数据,如下表所示:

$h(\times10^{-1}\text{m})$	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
$s^2(\times10^{-1}\text{m}^2)$	2.62	3.89	5.20	6.53	7.78

请在如图2所示,坐标纸上作出 s^2-h 关系图.

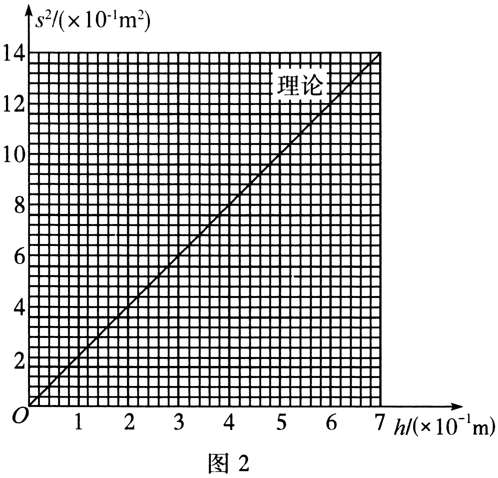


图 2

(3)对比实验结果与理论计算得到的 s^2-h 关系图线(图中已画出),自同一高度静止释放的钢球,水平抛出的速率__________(填"小于"或"大于")理论值.

(4)从 s^2-h 关系图线中分析得出钢球水平抛出的速率差十分显著,你认为造成上述偏差的可能原因是____.

专题八　验证动量守恒定律

典例剖析

题型 1：利用气垫导轨完成一维碰撞实验

【例 1】(2009 · 四川卷)气垫导轨(如图 1 所示)工作时，空气从导轨表面的小孔喷出，在导轨表面和滑块内表面之间形成一层薄薄的空气层，使滑块不与导轨表面直接接触，大大减小了滑块运动时的阻力. 为了验证动量守恒定律，在水平气垫导轨上放置两个质量均为 a 的滑块，每个滑块的一端分别与穿过打点计时器的纸带相连，两个打点计时器所用电源的频率均为 b. 气垫导轨正常工作后，接通两个打点计时器的电源，并让两滑块以不同的速度相向运动，两滑块相碰后粘在一起继续运动. 图 2 为某次实验打出的点迹清晰的纸带的一部分，在纸带上以相同间距的 6 个连续点为一段划分纸带，用刻度尺分别量出其长度 x_1、x_2 和 x_3. 若题中各物理量的单位均为国际单位，那么，碰撞前两滑块的动量大小分别为____________、____________，两滑块的总动量大小为____________；碰撞后两滑块的总动量大小为________. 重复上述实验，多做几次. 若碰撞前、后两滑块的总动量在实验误差允许的范围内相等，则动量守恒定律得到验证.

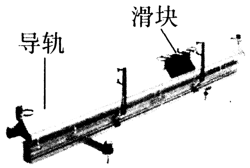


图 1

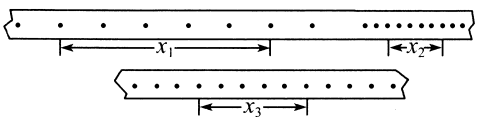


图 2

● 解析

［分析］

打点周期为 $\frac{1}{b}$，打 x_1、x_2、x_3 均用时 $\frac{5}{b}$. 碰前其中一个滑块的动量

$$p_1 = mv_1 = m\frac{x_1}{t} = a\frac{bx_1}{5} = 0.2abx_1$$

碰前另一个滑块的动量 $p_2 = mv_2 = m\frac{x_3}{t} = a\frac{bx_3}{5} = 0.2abx_3$，故碰前总动量

●解析

$p=p_1-p_2=0.2ab(x_1-x_3)$，同理碰后总动量

$p'=2m\frac{x_2}{t}=0.4abx_2$

［**答案**］

$0.2abx_1$　$0.2abx_3$　$0.2ab(x_1-x_3)$　$0.4abx_2$

［**感悟方法**］

1. **理解“点段”的含义：**“点段”问题在实验题中常常出现，特别是在纸带问题中，一般都要注意这个问题. 比如，常说的“每隔4个点”“每5个点”其实说的都是5段时间，即 $\Delta t=5T=0.1$ s. 本题出现的“以相同间距的6个连续点”，其时间间隔也是 $\Delta t=5T=0.1$ s.

2. **注意“点段”问题的不连续性：**涉及到“点段”理解的问题往往还会引发另一个问题，即“时间的非连续性”，结合本题，也就是说两滑块碰撞发生在什么时刻或是什么位置？是值得同学们细细分析的问题. 一般来讲，碰撞发生的时刻与打点的时刻不在同一时刻，这也是本题在选6个点时要考虑的问题，请同学们细细考量.

题型2：利用斜槽上滚下的小球来验证动量守恒定律

【例2】(2011·北京卷)如图1所示，用“碰撞实验器”可以验证动量守恒定律，即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后的动量关系.

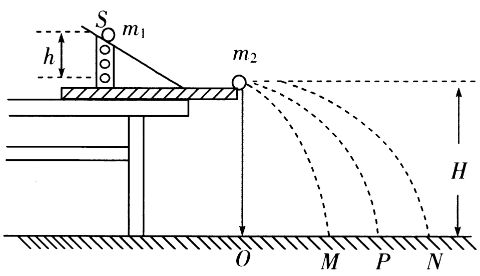


图1

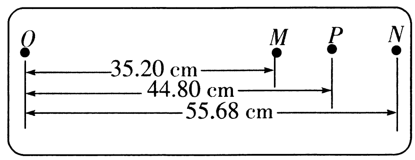


图2

(1)试验中，直接测定小球碰撞前、后的速度是不容易的，但是，可以通过仅测量________(填选项前的序号)，间接地解决这个问题.

A. 小球开始释放高度 h

B. 小球抛出点距地面的高度 H

C. 小球做平抛运动的射程

(2)图 2 中 O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影，实验时，先让入射球 m_1 多次从斜轨上 S 位置静止释放，找到其平均落地点的位置 P，测量平抛射程 OP. 然后，把被碰小球 m_2 静置于轨道的水平部分，再将入射球 m_1 从斜轨上 S 位置静止释放，与小球 m_2 相撞，并多次重复.

接下来要完成的必要步骤是________(填选项前的符号).

A. 用天平测量两个小球的质量 m_1、m_2

B. 测量小球 m_1 开始释放的高度 h

C. 测量抛出点距地面的高度 H

D. 分别找到 m_1、m_2 相碰后平均落地点的位置 M、N

E. 测量平抛射程 OM、ON

(3)若两球相碰前、后的动量守恒，其表达式可表示为________(用②中测量的量表示)；若碰撞是弹性碰撞，那么还应满足的表达式为________________(用②中测量的量表示).

(4)经测定，$m_1=45.0$ g，$m_2=7.5$ g，小球落地点的平均位置距 O 点的距离如图 2 所示. 碰撞前、后 m_1 的动量分别为 p_1 与 p'_1，则 $p_1:p'_1=$________$:11$；若碰撞结束时 m_2 的动量为 p'_2，则 $p'_1:p'_2=11:$________.

实验结果说明，碰撞前、后总动量的比值 $\frac{p_1}{p'_1+p'_2}$ 为________.

(5)有同学认为，在上述实验中仅更换两个小球的材质，其他条件不变，可以使被碰小球做平抛运动的射程增大，请你用(4)中已知的数据，分析和计算出被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 的最大值为________cm.

● 解析

[**分析**]

(1)由于本实验的碰撞是在同一高度，在空中运动时间相同，因而根据小球做平抛运动的射程就可知道碰撞前、后速度的大小之比，所以选 C.

(2)本实验必须用天平测量两个小球的质量 m_1、m_2，分别找到 m_1、m_2 相碰后平均落地点的位置 M、N 和测量平抛射程 OM，ON，故选 ADE.

●解析

(3) 由于 $m_1v_1+m_2v_2=m_1v$，且 $v_1=\frac{OM}{t}$、$v_2=\frac{ON}{t}$、$v=\frac{OP}{t}$ 所以 $m_1OM+m_2ON=m_1OP$. 若碰撞是弹性碰撞，则机械能守恒，即 $\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v^2$，所以 $m_1OM^2+m_2ON^2=m_1OP^2$.

(4) $\frac{p_1}{p_1'}=\frac{m_1v_1}{m_1v_1'}=\frac{OP}{OM}=\frac{44.80}{35.20}=\frac{14}{11}$；$\frac{p_1'}{p_2'}=\frac{m_1v_1'}{m_2v_2'}=\frac{m_1OM}{m_2ON}=\frac{45.0\times35.20}{7.5\times55.68}=\frac{1\ 584}{417.6}=\frac{11}{2.9}$；$\frac{p_1}{p_1'+p_2'}=\frac{m_1OP}{m_1OM+m_2ON}=\frac{45.0\times44.80}{45.0\times35.20+7.5\times55.68}=\frac{2\ 016}{2\ 001.6}=1.007$.

(5) 当两个球发生完全弹性碰撞时，被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 有最大值. 弹性碰撞动量守恒，即 $m_1v_1+m_2v_2=m_1v$，机械能守恒，即 $\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v^2$ 解得：$v_2=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v$，所以 $ON_m=\frac{2m_1}{m_1+m_2}OP=\frac{2\times45.0}{45.0+7.5}\times44.8\ \text{cm}=76.8\ \text{cm}$，故被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 的最大值为 76.8 cm.

[**答案**]

(1) C　(2) ADE　(3) $m_1OM+m_2ON=m_1OP$　$m_1OM^2+m_2ON^2=m_1OP^2$　(4) 14　2.9　1～1.01　(5) 76.8

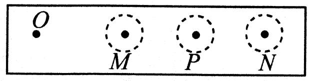
[**感悟方法**]

本实验有两个精彩的设计：

1. **物理量的转化测量**：直接测定小球碰撞前、后的速度是不容易的，一般我们都是用光电门、打点计时器等，在这个实验中巧妙地转化了物理量的测量，测速度转化为测水平位移. 实验中碰撞后的小球均是在同一高度，在空中运动时间相同，因而根据小球做平抛运动的射程 $x=vt$ 就可知道碰撞后速度的大小之比等于水平射程之比.

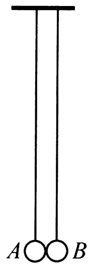
● 解析

2. **小球落点的确定**：为了减小误差，我们需要多次重复相同的碰撞，这样两小球各自的落点就很多，为了确定平均落点，采用了一种“画圆”的方法来确定相应小球的平均落点，具体操作为：用尽量小的圆把某个小球的所有落点圈进圆内，那么这个最小圆的圆心就代表了该小球的平均落点. 如图所示.



题型3：利用单摆悬挂小球完成一维碰撞实验

【例3】(2008·宁夏卷)某同学利用如图所示的装置验证动量守恒定律. 图中两摆摆长相同，悬挂于同一高度，A、B 两摆球均很小，质量之比为 1∶2. 当两摆均处于自由静止状态时，其侧面刚好接触. 向右上方拉动 B 球使其摆线伸直并与竖直方向成45°角，然后将其由静止释放. 结果观察到两摆球粘在一起摆动，且最大摆角成30°. 若本实验允许的最大误差为 ±4%，此实验是否成功地验证了动量守恒定律?



● 解析

[**分析**]

设摆球 A、B 的质量分别为 m_A、m_B，摆长为 l，B 球的初始高度为 h_1，碰撞前 B 球的速度为 v_B. 在不考虑摆线质量的情况下，根据题意及机械能守恒定律得

$$h_1 = l(1-\cos 45°) \quad ①$$

$$\frac{1}{2}m_B v_B^2 = m_B g h_1 \quad ②$$

设碰撞前、后两摆球的总动量的大小分别为 p_1、p_2. 有

$$p_1 = m_B v_B \quad ③$$

联立①②③式得

$$p_1 = m_B\sqrt{2gl(1-\cos 45°)} \quad ④$$

同理可得

$$p_2 = (m_A + m_B)\sqrt{2gl(1-\cos 30°)} \quad ⑤$$

●解析

联立④⑤式得

$$\frac{p_2}{p_1}=\frac{m_A+m_B}{m_B}\sqrt{\frac{1-\cos 30°}{1-\cos 45°}} \qquad ⑥$$

代入已知条件得

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2=1.03 \qquad ⑦$$

由此可以推出

$$\left|\frac{p_2-p_1}{p_1}\right|\leqslant 4\% \qquad ⑧$$

所以,此实验在误差允许的范围内验证了动量守恒定律.

[**答案**]

见解析

[**感悟方法**]

1. **实验题连接计算题**:与其说本题是实验题,不如说是个综合计算题,俗称"计算型实验题",是创新实验题常用的一种命题方式,面对这样的问题,同学们按照计算题的解题方法来求解即可.
2. **理想与现实的桥梁**:计算题一般都是按照理想化模型来计算的,比如两小球各自做的圆周运动,根据机械能守恒,求出最低点各自的速度,表达出各自的动量. 而事实上,两小球的圆周运动要受到空气阻力的作用,影响了各自最低点的速度,也影响了各自最低点的动量,这正是误差引起的原因,正是这个实验误差的存在,理想与现实之间搭建了一座桥梁.

题型4: 利用频闪照片测速度来验证动量守恒定律

【例4】为了验证动量守恒定律(探究碰撞中的不变量),某同学选取了两个材质相同、体积不等的立方体滑块 A 和 B,按下述步骤进行实验:

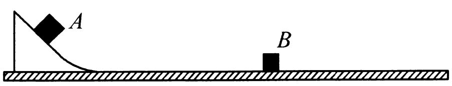


图 1

步骤1:在 A、B 的碰撞面分别装上橡皮泥,以便二者碰撞以后能够立刻结为整体;

步骤2:安装好实验装置如图1所示,铝质轨道槽的左端是倾斜槽,右端是长直水平槽. 倾斜槽和水平槽由一小段弧连接,轨道槽被固定在水平桌面上,在轨道槽的侧面与轨道等高且适当远处装一台数码频闪照相机;

步骤 3：让滑块 B 静置于水平槽的某处，滑块 A 从斜槽某处由静止释放，同时开始频闪拍摄，直到 A、B 停止运动，得到一幅多次曝光的数码照片；

步骤 4：多次重复步骤 3，得到多幅照片，挑出其中最理想的一幅，打印出来，将刻度尺紧靠照片放置，如图 2 所示.

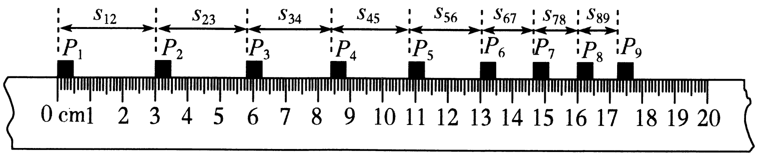


图 2

(1) 由图分析可知，滑块 A 与滑块 B 碰撞发生的位置________.

①在 P_5、P_6 之间　　②在 P_6 处　　③在 P_6、P_7 之间

(2) 为了探究碰撞中动量是否守恒，需要直接测量或读取的物理量是________.

①A、B 两个滑块的质量 m_1 和 m_2

②滑块 A 释放时距桌面的高度

③频闪照相的周期

④照片尺寸和实际尺寸的比例

⑤照片上测得的 s_{45}、s_{56} 和 s_{67}、s_{78}

⑥照片上测得的 s_{34}、s_{45}、s_{56} 和 s_{67}、s_{78}、s_{89}

⑦滑块与桌面间的动摩擦因数

写出验证动量守恒的表达式________.

(3) 请你写出一条有利于提高实验准确度或改进实验原理的建议：____.

● 解析

[分析]

(1) 由图可知 $s_{12}=3.00\ \text{cm}$，$s_{23}=2.80\ \text{cm}$，$s_{34}=2.60\ \text{cm}$，$s_{45}=2.40\ \text{cm}$，$s_{56}=2.20\ \text{cm}$，$s_{67}=1.60\ \text{cm}$，$s_{78}=1.40\ \text{cm}$，$s_{89}=1.20\ \text{cm}$. 根据匀变速直线运动的特点可知 A、B 相撞的位置在 P_6 处.

●解析

(2)为了探究A、B碰撞前、后动量是否守恒，就要得到碰撞前、后的动量，所以要测量A、B两个滑块的质量m_1、m_2和碰撞前、后的速度. 设照相机拍摄时间间隔为T，则P_4处的速度为$v_4=\frac{s_{34}+s_{45}}{2T}$，$P_5$处的速度为$v_5=\frac{s_{45}+s_{56}}{2T}$，因为$v_5=\frac{v_4+v_6}{2}$，所以$A$、$B$碰撞前$A$在$P_6$处的速度为$v_6=\frac{s_{45}+2s_{56}-s_{34}}{2T}$；同理可得碰撞后$AB$在$P_6$处的速度为$v_6'=\frac{2s_{67}+s_{78}-s_{89}}{2T}$. 若动量守恒则有$m_1v_6=(m_1+m_2)v_6'$，整理得$m_1(s_{45}+2s_{56}-s_{34})=(m_1+m_2)(2s_{67}+s_{78}-s_{89})$. 因此需要测量或读取的物理量是①⑥.

(3)若碰撞前、后A、B都做匀速运动则可提高实验的精确度.

[**答案**]

(1)②　(2)①⑥　$m_1(s_{45}+2s_{56}-s_{34})=(m_1+m_2)(2s_{67}+s_{78}-s_{89})$

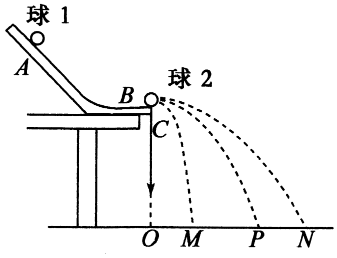
(3)将轨道的一端垫起少许，平衡摩擦力，使得滑块碰撞前、后都做匀速运动（其他合理答案也可）

[**感悟方法**]

本题是“点段式”问题，由于“点段式”问题的不连续性，所以碰撞位置的确定是本题的难点. 一般来讲，碰撞的时刻与频闪的时刻难以发生在同一时刻. 但本题恰恰是个“巧合”：A、B碰撞的位置恰好在P_6处，这一点请同学们好好体会.

实战演练

1. (2007·**全国卷**Ⅰ)碰撞的恢复系数的定义为$e=\frac{|v_2-v_1|}{v_{20}-v_{10}}$，其中$v_{10}$和$v_{20}$分别是碰撞前两物体的速度，$v_1$和$v_2$分别是碰撞后两物体的速度. 弹性碰撞的恢复系数$e=1$，非弹性碰撞的$e<1$. 某同学借用验证动量守恒定律的实验装置（如图所示）验证弹性碰撞的恢复系数是否为1，实验中使用半径相等的钢质小球1和2，（它们之间的碰撞可近似视为弹性碰撞），且小球1的质量大于小球2的质量.



实验步骤如下：

安装好实验装置，做好测量前的准备，并记下重垂线所指的位置 O.

第一步：不放小球 2，让小球 1 从斜槽上 A 点由静止滚下，并落在地面上. 重复多次，用尽可能小的圆把小球的所有落点圈在里面，其圆心就是小球落点的平均位置.

第二步：把小球 2 放在斜槽前端边缘处的 C 点，让小球 1 从 A 点由静止滚下，使它们碰撞. 重复多次，并使用与第一步同样的方法分别标出碰撞后两小球落点的平均位置.

第三步：用刻度尺分别测量三个落点的平均位置离 O 点的距离，即线段 OM、OP、ON 的长度.

上述实验中，

(1) P 点是________________的平均位置，M 点是________________的平均位置，N 点是________________的平均位置.

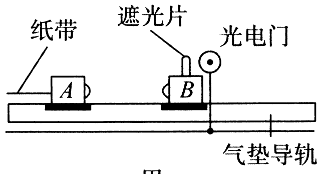
(2) 请写出本实验的原理____.

写出用测量量表示的恢复系数的表达式________________________.

(3) 三个落点距 O 点的距离 OM、OP、ON 与实验所用的小球质量是否有关？

____.

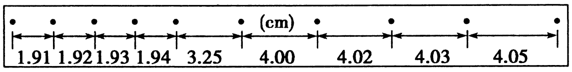
2. (2014 · **全国卷Ⅱ**) 现利用如图甲所示的装置验证动量守恒定律. 在图中，气垫导轨上有 A、B 两个滑块，滑块 A 右侧带有一弹簧片，左侧与打点计时器(图中未画出)的纸带相连；滑块 B 左侧也带有一弹簧片，上面固定一遮光片，光电计时器(未完全画出)可以记录遮光片通过光电门的时间.



甲

实验测得滑块 A 的质量 $m_1=0.310\ \text{kg}$，滑块 B 的质量 $m_2=0.108\ \text{kg}$，遮光片的宽度 $d=1.00\ \text{cm}$，打点计时器所用交流电的频率为 $f=50.0\ \text{Hz}$.

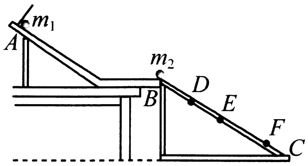
将光电门固定在滑块 B 的右侧，启动打点计时器，给滑块 A 一向右的初速度，使它与 B 相碰. 碰后光电计时器显示的时间为 $\Delta t_B=3.500\ \text{ms}$，碰撞前、后打出的纸带如图乙所示.



乙

若实验允许的相对误差绝对值$\left(\left|\dfrac{\text{碰撞前后总动量之差}}{\text{碰前总动量}}\right|\times 100\%\right)$最大为 5%，本实验是否在误差允许范围内验证了动量守恒定律？写出运算过程.

3. 为了验证碰撞中的动量守恒和检验两个小球的碰撞是否为弹性碰撞，某同学选取了两个体积相同、质量相差比较大的小球，按下述步骤做了实验：



①用天平测出两小球的质量(分别为 m_1 和 m_2，且 $m_1>m_2$).

②按如图所示安装好实验器材，将斜槽 AB 固定在桌边，使槽的末端切线水平，将一斜面 BC 连接在斜槽末端.

③先不放小球 m_2，让小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下，记下小球在斜面上的落点位置.

④将小球 m_2 放在斜槽末端边缘处，让小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下，使它们发生碰撞，分别记下小球 m_1 和 m_2 在斜面上的落点位置.

⑤用毫米刻度尺量出各个落点位置到斜槽末端点 B 的距离. 图中 D、E、F 点是该同学记下小球在斜面上的几个落点位置，到 B 点的距离分别为 L_D、L_E、L_F.

根据该同学的实验，回答下列问题：

(1)在不放小球 m_2 时，小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下，m_1 的落点在图中的________点；把小球 m_2 放在斜槽末端边缘处，小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下，使它们发生碰撞，碰后小球 m_1 的落点在图中的________点.

(2)若碰撞过程中，动量和机械能均守恒，不计空气阻力，则下列表达式中正确的有________.

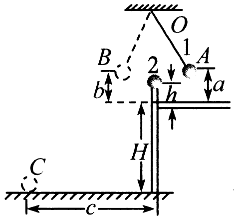
A. $m_1L_F=m_1L_D+m_2L_E$

B. $m_1L_E^2=m_1L_D^2+m_2L_F^2$

C. $m_1L_E=m_1L_D+m_2L_F$

D. $L_E=L_F-L_D$

4. 如图所示是用来验证动量守恒的实验装置，弹性球 1 用细线悬挂于 O 点，O 点下方桌子的边沿有一竖直立柱. 实验时，调节悬点，使弹性球 1 静止时恰与立柱上的球 2 接触且两球等高. 将球 1 拉到 A 点，并使之静止，同时把球 2 放在立柱上. 释放球 1，当它摆到悬点正下方时与球 2 发生对心碰撞，碰后球 1 向左最远可摆到 B 点，球 2 落到水平地面上的 C 点. 测出有关数据即可验证 1、2 两球碰撞时动量守恒. 现已测出 A 点离水平桌面的距离为 a，B 点离水平桌面的距离为 b，C 点与桌子边沿间的水平距离为 c. 此外，



(1)还需要测量的量是________________、________和________.

(2)根据测量的数据，该实验中动量守恒的表达式为________________.

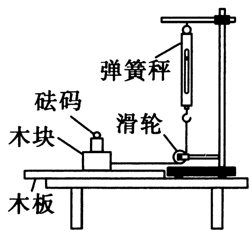
(忽略小球的大小)

专题九　测定动摩擦因数

典例剖析

题型 1：利用平衡条件来测定动摩擦因数

【例 1】(2018 · 全国卷Ⅱ)某同学用图(a)所示的装置测量木块与木板之间的动摩擦因数. 跨过光滑定滑轮的细线两端分别与木块和弹簧秤相连,滑轮和木块间的细线保持水平,在木块上方放置砝码. 缓慢向左拉动水平放置的木板,当木块和砝码相对桌面静止且木板仍在继续滑动时,弹簧秤的示数即为木块受到的滑动摩擦力的大小. 某次实验所得数据在表中给出,其中 f_4 的值可从图(b)中弹簧秤的示数读出.

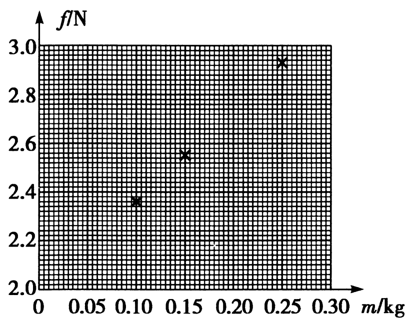


图(a)

砝码的质量 m/kg	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
滑动摩擦力 f/N	2.15	2.36	2.55	f_4	2.93



图(b)



图(c)

回答下列问题：

(1)f_4 = ________N;

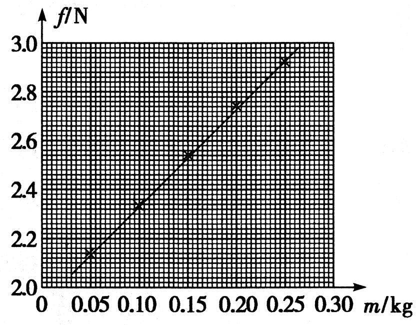
(2)在图(c)的坐标纸上补齐未画出的数据点并绘出 f-m 图线;

(3)f 与 m、木块质量 M、木板与木块之间的动摩擦因数 μ 及重力加速度大小 g 之间的关系式为 f = ________ , f-m 图线(直线)的斜率的表达式为 k = ________;

(4)取 g = 9.80 m/s^2,由绘出的 f-m 图线求得 μ = ________. (保留 2 位有效数字)

●解析

[分析]



(1)弹簧秤的最小刻度为0.1 N,指针指在2.7与2.8之间,估读为2.75 N.

(2)描点画线注意让所有点均匀分布在线上或线的两边,如图所示.

(3)木块受到的是滑动摩擦力,根据滑动摩擦力的定义知$f=\mu(M+m)g$

把公式化简可得:$f=\mu(M+m)g=(\mu g)m+\mu Mg$

所以图象的斜率$k=\mu g$.

(4)取$g=9.80\ m/s^2$,取图象上相距较远的两点求斜率$k=\frac{2.94-2.16}{0.25-0.05}=3.9$

则$\mu=\frac{k}{g}=\frac{3.9}{9.8}\approx0.40$.

[答案]

(1)2.75　(2)如解析图所示

(3)$\mu(M+m)g$　μg　(4)0.40

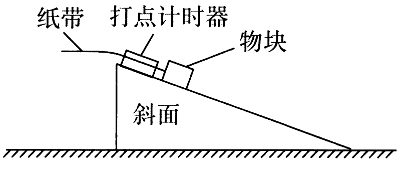
[感悟方法]

1. **理解实验原理**:要测动摩擦因数,必然要使物体受到滑动摩擦力.本题设计巧妙,通过拉动木板,使木块受到滑动摩擦力,让木块处于静止,木块受到的滑动摩擦力的大小等于弹簧秤给木块的拉力大小.不仅如此,木块受到的滑动摩擦力大小不受木板向左运动速度的影响,这样有利于操作.

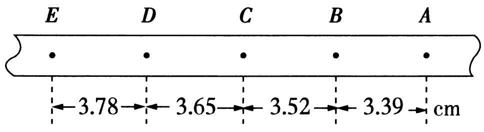
2. **运用图象的能力**:对于图象,要求同学们不仅要“会画”,而且要“会用”.“会画”一般指的是描点连线,连线时要注意让所有的点均匀分布在线上或线的两侧;“会用”一般指的是数形结合,数形结合要求同学们结合图象坐标整理出相应的数学函数,然后观测斜率和截距分别代表什么或是从图象上获取相应信息,结合物理规律解出相应的问题来.

题型2：利用牛顿第二定律来测定动摩擦因数

【例2】(2015·全国卷Ⅱ)某同学用如图甲所示的实验装置测量物块与斜面之间的动摩擦因数.已知打点计时器所用电源的频率为50 Hz,物块下滑过程中所得到的纸带的一部分如图乙所示,图中标出了五个连续点之间的距离.



甲



乙

(1)物块下滑时的加速度 $a=$________ m/s^2,打 C 点时物块的速度 $v=$________ m/s;

(2)已知重力加速度大小为 g,为求出动摩擦因数,还必须测量的物理量是________(填正确答案标号).

A. 物块的质量　　　　B. 斜面的高度　　　　C. 斜面的倾角

●解析

[**分析**]

(1)用两段法求纸带加速度,

$$a=\frac{(x_3+x_4)-(x_1+x_2)}{4T^2}=3.25\ m/s^2$$

C 点速度等于 BD 段的平均速度,即 $v=\frac{x_{BD}}{2T}\approx 1.79$ m/s.

(2)由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$,$\mu=\frac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$,故C正确.

[**答案**]

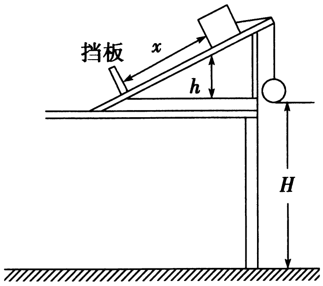
(1)3.25　1.79　(2)C

[**感悟方法**]

本题是计算型实验题,这类问题一般都是借助实验情景,探明实验原理,然后结合提问进行解答.

题型3：利用一把尺子来测定动摩擦因数

【例3】(2011·山东卷)某探究小组设计了“用一把尺子测定动摩擦因数”的实验方案. 如图所示,将一个小球和一个滑块用细绳连接,跨在斜面上端. 开始时小球和滑块均静止,剪断细绳后,小球自由下落,滑块沿斜面下滑,可先后听到小球落地和滑块撞击挡板的声音. 保持小球和滑块释放的位置不变,调整挡板位置,重复以上操作,直到能同时听到小球落地和滑块撞击挡板的声音. 用刻度尺测出小球下落的高度 H、滑块释放点与挡板处的高度差 h 和沿斜面运动的位移 x.(空气阻力对本实验的影响可以忽略)



(1)滑块沿斜面运动的加速度与重力加速度的比值为________.

(2)滑块与斜面间的动摩擦因数为________.

(3)以下能引起实验误差的是________.

a. 滑块的质量

b. 当地重力加速度的大小

c. 长度测量时的读数误差

d. 小球落地和滑块撞击挡板不同时

●解析

[分析]

(1)滑块沿斜面做初速度为零的匀加速直线运动,有 $x=\frac{1}{2}at^2$,

小球做自由落体运动,有 $H=\frac{1}{2}gt^2$,所以 $\frac{a}{g}=\frac{x}{H}$.

(2)对滑块受力分析,根据牛顿第二定律得 $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$.

即 $\frac{x}{H}g=g\frac{h}{x}-\mu g\frac{\sqrt{x^2-h^2}}{x}$

解得 $\mu=\left(h-\frac{x^2}{H}\right)\frac{1}{\sqrt{x^2-h^2}}$.

(3)由(1)(2)分析知,c、d 能引起实验误差.

●解析

［答案］

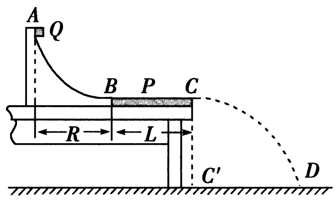
（1）$\frac{x}{H}$　（2）$\left(h-\frac{x^2}{H}\right)\frac{1}{\sqrt{x^2-h^2}}$　（3）cd

［感悟方法］

本题体现了物理量的转化测量. 同学们可以将本题与上一题作对比，会发现所谓的“用一把尺子测定动摩擦因数”，其本质就是将角度的测量转化为长度的测量，这也是实验设计中经常用的一个技巧，也是实验题常考的一个关键点.

题型4：利用能量的转化与守恒来测定动摩擦因数

【例4】（2013·全国卷）测量小物块 Q 与平板 P 之间动摩擦因数的实验装置如图所示. AB 是半径足够大的、光滑的四分之一圆弧轨道，与水平固定放置的 P 板的上表面 BC 在 B 点相切，C 点在水平地面的垂直投影为 C'. 重力加速度大小为 g. 实验步骤如下：



①用天平称出物块 Q 的质量 m；

②测量出轨道 AB 的半径 R、BC 的长度 L 和 CC' 的长度 h；

③将物块 Q 在 A 点由静止释放，在物块 Q 落地处标记其落地点 D；

④重复步骤③，共做10次；

⑤将10个落地点用一个尽量小的圆围住，用米尺测量圆心到 C' 的距离 s.

（1）用实验中的测量量表示：

（ⅰ）物块 Q 到达 B 点时的动能 $E_{kB}=$________；

（ⅱ）物块 Q 到达 C 点时的动能 $E_{kC}=$________；

（ⅲ）在物块 Q 从 B 运动到 C 的过程中，物块 Q 克服摩擦力做的功 $W_f=$________；

（ⅳ）物块 Q 与平板 P 之间的动摩擦因数 $\mu=$________.

（2）回答下列问题：

（ⅰ）实验步骤④⑤的目的是____________；

（ⅱ）已知实验测得的 μ 值比实际值偏大，其原因除了实验中测量量的误差之外，其他的可能是____________________（写出一个可能的原因即可）.

● 解析

[**分析**]

(1)(ⅰ)由机械能守恒得,$E_{kB}=mgR$;

(ⅱ)根据平抛运动有:$h=\frac{1}{2}gt^2$,$s=v_Ct$,则 $v_C=s\sqrt{\frac{g}{2h}}$,

所以 $E_{kC}=\frac{1}{2}mv_C^2=\frac{mgs^2}{4h}$;

(ⅲ)根据动能定理有:$W_f=E_{kB}-E_{kC}=mgR-\frac{mgs^2}{4h}$;

(ⅳ)由 $W_f=\mu mgL$,所以 $\mu=\frac{R}{L}-\frac{s^2}{4hL}$.

(2)多次实验取平均值有利于减小偶然误差;测得 μ 值偏大,说明实验阻力做功较多,原因可能有圆弧轨道不够光滑、接缝处不平滑或存在空气阻力等.

[**答案**]

(1)(ⅰ)mgR　(ⅱ)$\frac{mgs^2}{4h}$　(ⅲ)$mgR-\frac{mgs^2}{4h}$　(ⅳ)$\frac{R}{L}-\frac{s^2}{4hL}$

(2)(ⅰ)减小实验结果的误差　(ⅱ)圆弧轨道存在摩擦(或接缝 B 处不平滑等)

[**感悟方法**]

本题是一个多过程计算型实验题,解题的关键是通过合理拆分,将整个过程分解成三个子过程:圆周运动、平抛运动、匀减速直线运动.然后,针对每个子过程,选择合适的物理规律求解分析即可.

实战演练

1.(2014·山东卷)某实验小组利用弹簧秤和刻度尺,测量滑块在木板上运动的最大速度.

实验步骤:

①用弹簧秤测量橡皮泥和滑块的总重力,记作 G;

②将装有橡皮泥的滑块放在水平木板上,通过水平细绳和固定弹簧秤相连,如图甲所示.在 A 端向右拉动木板,待弹簧秤示数稳定后,将读数记作 F;

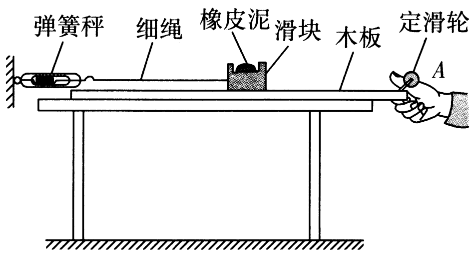
③改变滑块上橡皮泥的质量,重复步骤①②;

实验数据如下表所示:

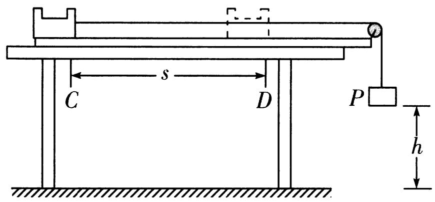
G/N	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
F/N	0.59	0.83	0.99	1.22	1.37	1.61

④如图乙所示,将木板固定在水平桌面上,滑块置于木板上左端 C 处,细绳跨过定滑轮分别与滑块和重物 P 连接,保持滑块静止,测量重物 P 离地面的高度 h;

⑤滑块由静止释放后开始运动并最终停在木板上的 D 点(未与滑轮碰撞),测量 C、D 间的距离 s.



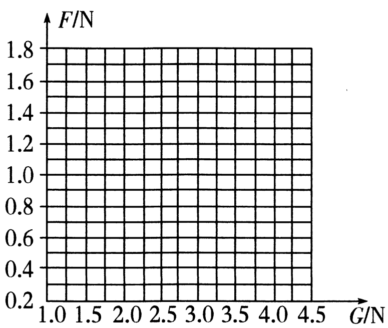
图甲



图乙

完成下列作图和填空:

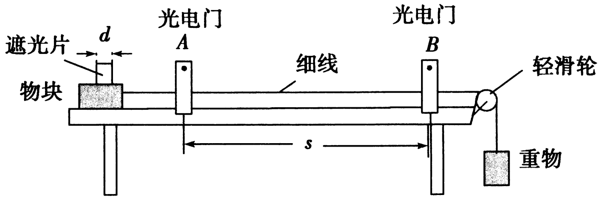
(1)根据表中数据在给定坐标纸上作出 F-G 图线.



(2)由图线求得滑块和木板间的动摩擦因数 μ = ________(保留 2 位有效数字).

(3)滑块最大速度的大小 v = ________(用 h、s、μ 和重力加速度 g 表示).

2. (2013·全国卷Ⅰ)图(a)为测量物块与水平桌面之间动摩擦因数的实验装置示意图. 实验步骤如下:



图(a)

①用天平测量物块和遮光片的总质量 M、重物的质量 m;用游标卡尺测量遮光片的宽度 d;用米尺测量两光电门之间的距离 s;

②调整轻滑轮,使细线水平;

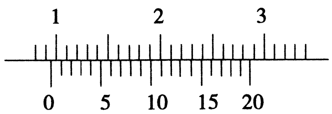
③让物块从光电门 A 的左侧由静止释放,用数字毫秒计分别测出遮光片经过光电门 A 和光电门 B 所用的时间 Δt_A 和 Δt_B,求出加速度 a;

④多次重复步骤③,求 a 的平均值 $\overline{a}$;

⑤根据上述实验数据求出动摩擦因数 μ.

回答下列问题:

(1)测量 d 时,某次游标卡尺(主尺的最小分度为 1 mm)的示数如图(b)所示,其读数为________cm.



图(b)

(2)物块的加速度 a 可用 d、s、Δt_A 和 Δt_B 表示为 a = ________________.

(3)动摩擦因数 μ 可用 M、m、$\overline{a}$和重力加速度 g 表示为 μ = ________________.

(4)如果细线没有调整到水平,由此引起的误差属于________(选填"偶然误差"或"系统误差").

3. (2008·宁夏卷)物理小组在一次探究活动中测量滑块与木板之间的动摩擦因数. 实验装置如图 1 所示,一表面粗糙的木板固定在水平桌面上,一端装有定滑轮;木板上有一滑块,其一端与电磁打点计时器的纸带相连,另一端通过跨过定滑轮的细线与托盘连接. 打点计时器使用的交流电源的频率为 50 Hz. 开始实验时,在托盘中放入适量砝码,滑块开始做匀加速运动,在纸带上打出一系列小点.

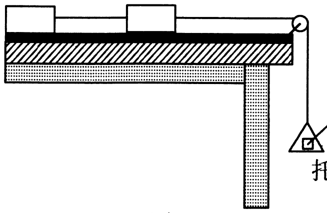


图 1

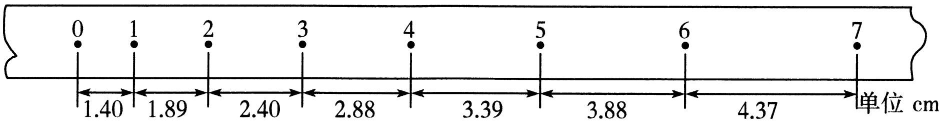


图 2

(1)图 2 给出的是实验中获取的一条纸带的一部分：0、1、2、3、4、5、6、7 是计数点，每相邻两计数点间还有 4 个打出的点(图中未标出)，计数点间的距离如图所示. 根据图中数据计算的加速度 $a=$__________(保留三位有效数字).

(2)回答下列两个问题：

①为测量动摩擦因数，下列物理量中还应测量的有________.(填入所选物理量前的字母)

A. 木板的长度 l

B. 木板的质量 m_1

C. 滑块的质量 m_2

D. 托盘和砝码的总质量 m_3

E. 滑块运动的时间 t

②测量①中所选定的物理量时，需要的实验器材是__________.

(3)滑块与木板间的动摩擦因数 $\mu=$______________(用被测物理量的字母表示，重力加速度为 g). 与真实值相比，测量的动摩擦因数________(填“偏大”或“偏小”). 写出支持你的看法的一个论据：____.

4.（2011·重庆卷）某同学设计了如图1所示的装置，利用米尺、秒表、轻绳、轻滑轮、轨道、滑块、托盘和砝码等器材来制定滑块和轨道间的动摩擦因数 μ. 滑块和托盘上分别放有若干砝码，滑块质量为 M，滑块上砝码总质量为 m'，托盘和盘中砝码的总质量为 m. 实验中，滑块在水平轨道上从 A 到 B 做初速度为零的匀加速直线运动，重力加速度 g 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$.

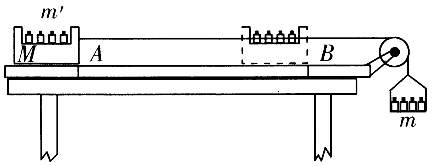


图 1

（1）为测量滑块的加速度 a，须测出它在 A、B 间运动的________与________，计算 a 的运动学公式是________；

（2）根据牛顿运动定律得到 a 与 m 的关系为：$a=\dfrac{(1+\mu)g}{M+(m'+m)}m-\mu g$，他想通过多次改变 m，测出相应的 a 值，并利用上式来计算 μ. 若要求 a 是 m 的一次函数，必须使上式中的________保持不变，实验中应将从托盘中取出的砝码置于________；

（3）实验得到 a 与 m 的关系如图2所示，由此可知 $\mu=$________（取两位有效数字）.

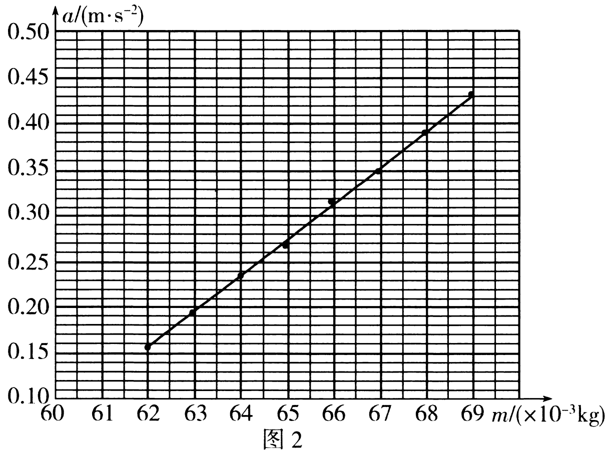


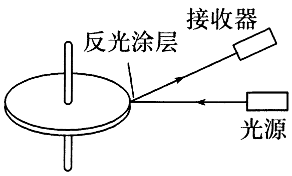
图 2

专题十　力学创新实验

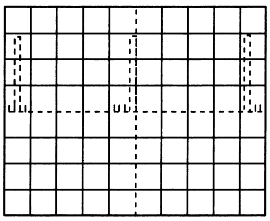
典例剖析

题型 1：利用激光测量圆盘转动的转速

【例 1】(2010 · 全国卷 I)如图甲是利用激光测转速的原理示意图，图中圆盘可绕固定轴转动，盘边缘侧面上有一小段涂有很薄的反光材料. 当盘转到某一位置时，接收器可以接收到反光涂层所反射的激光束，并将所收到的光信号转变成电信号，在示波器显示屏上显示出来(如图乙所示).



甲


乙

(1)若图乙中示波器显示屏上横向的每大格(5 小格)对应的时间为 5.00×10^{-2} s，则圆盘的转速为___________ r/s.(保留 3 位有效数字)

(2)若测得圆盘直径为 10.20 cm，则可求得圆盘侧面反光涂层的长度为________ cm.(保留3 位有效数字)

● 解析

[**分析**]

(1)从图乙可知圆盘转一圈的时间在横坐标上显示 22 格，由题意知图乙中横坐标上每小格表示 1.00×10^{-2} s，所以圆盘转动的周期是 0.22 s，则转速为 4.55 r/s.

(2)反光引起的电流图象在图乙中的横坐标上每次一小格，说明反光涂层的长度占圆盘周长的$\frac{1}{22}$，即反光涂层的长度 $l=\frac{2\pi r}{22}=\frac{3.14\times10.20}{22}$ cm $=1.46$ cm.

[**答案**]

(1)4.55　(2)1.46

●解析

［**感悟方法**］

1. **实验题转化为计算题**. 多数创新实验,其实在平时没有真正的操作过,所以这类创新实验题,即为计算型实验题. 在解题时,只要按照计算题的解题方法一步一步求解即可.

2. **图形识别能力**. 本题的关键是要读懂乙图上的信息,这就要求把图形信息与实际的情景联系起来. 从一个信号到下一个信号之间刚好是一个周期的时间,反光引起的电流图象在图乙中的横坐标上每次一小格,可以推算出反光涂层的长度占圆盘周长的 $\frac{1}{22}$,获得这些信息,问题才能迎刃而解.

题型 2:探究弹簧的弹性势能

【例 2】(2013·全国卷Ⅱ)某同学利用下述装置对轻质弹簧的弹性势能进行探究:一轻质弹簧放置在光滑水平桌面上,弹簧左端固定,右端与一小球接触而不固连;弹簧处于原长时,小球恰好在桌面边缘,如图(a)所示. 向左推小球,使弹簧压缩一段距离后由静止释放;小球离开桌面后落到水平地面. 通过测量和计算,可求得弹簧被压缩后的弹性势能. 回答下列问题:

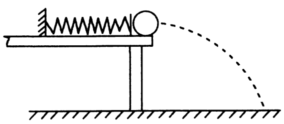


图 (a)

(1)本实验中可认为,弹簧被压缩后的弹性势能 E_p 与小球抛出时的动能 E_k 相等. 已知重力加速度大小为 g. 为求得 E_k,至少需要测量下列物理量中的________(填正确答案标号).

A. 小球的质量 m

B. 小球抛出点到落地点的水平距离 s

C. 桌面到地面的高度 h

D. 弹簧的压缩量 Δx

E. 弹簧原长 l_0

(2)用所选取的测量量和已知量表示 E_k,得 E_k = ______.

(3)图(b)中的直线是实验测量得到的 s-Δx 图线. 从理论上可推出,如果 h 不变. m 增加,s-Δx 图线的斜率会________(填"增大""减小"或"不变");如果 m 不变,h 增加,s-Δx 图线的斜率会________(填"增大""减小"或"不变"). 由图(b)中给出的直线关系和 E_k 的表达式可知,E_p 与 Δx 的________次方成正比.

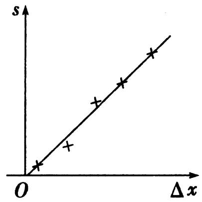


图 (b)

●解析

[**分析**]

(1)本实验通过对平抛运动的计算,测量小球获得的动能,再根据机械能守恒,可得到弹簧的弹性势能,故需要测量的量有小球从抛出点到落地点的水平距离 s、桌面到地面的高度 h、小球的质量 m,A、B、C 正确.

(2)由 $h=\frac{1}{2}gt^2$,$s=vt$ 可得 $v=s\sqrt{\frac{g}{2h}}$

故 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{mgs^2}{4h}$.

(3)由 $s=v_0t$,$h=\frac{1}{2}gt^2$ 可知,h 不变,则 $s\propto v_0$;而对相同的 Δx,当小球质量 m 增大时,平抛初速度减小,s 减小,因此图线斜率 $k=\frac{s}{\Delta x}$减小;如果 m 不变,h 增大,则相同的 Δx 对应的 s 会增大,斜率会增大. 根据机械能守恒,$E_p=E_k=\frac{mgs^2}{4h}$,由题图知 $s\propto\Delta x$,故 $E_p\propto\Delta x^2$.

[**答案**]

(1)ABC (2)$\frac{mgs^2}{4h}$ (3)减小 增大 2

[**感悟方法**]

本实验展现了三个方法:两转化一结合.

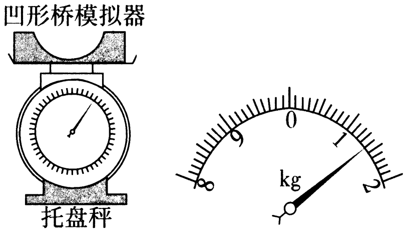
1. 根据机械能守恒定律将对弹性势能的测量转化为对小球动能的测量.

2. 利用平抛运动的规律将对瞬时速度的测量转化为对长度的测量.

3. 通过数形结合得出弹簧的弹性势能 E_p 与形变量 Δx 的二次方成正比.

题型 3：探究小车在凹形桥最低点的速度与弹力

【例 3】(2015 · 全国卷Ⅰ)某物理小组的同学设计了一个粗测玩具小车通过凹形桥最低点时的速度的实验. 所用器材有：玩具小车、压力式托盘秤、凹形桥模拟器(圆弧部分的半径为 $R=0.20$ m).



甲　　乙

完成下列填空：

(1)将凹形桥模拟器静置于托盘秤上，如图甲所示，托盘秤的示数为 1.00 kg.

(2)将玩具小车静置于凹形桥模拟器最低点时，托盘秤的示数如图乙所示，该示数为________kg.

(3)将小车从凹形桥模拟器某一位置释放，小车经过最低点后滑向另一侧. 此过程中托盘秤的最大示数为 m；多次从同一位置释放小车，记录各次的 m 值如下表所示.

序号	1	2	3	4	5
m(kg)	1.80	1.75	1.85	1.75	1.90

(4)根据以上数据，可求出小车经过凹形桥最低点时对桥的压力为________N；小车通过最低点时的速度大小为________m/s(重力加速度大小取 9.80 m/s^2，计算结果保留 2 位有效数字).

●解析

[**分析**]

(2)根据秤盘指针可知量程 10 kg,最小刻度是 0.1 kg,因此托盘秤的示数要估读一位,所以是 1.40 kg;

(4)记录的托盘示数各次并不相同,而多次测量求平均值可以减小误差,对表格的五个数据求平均值,为 1.81 kg,

所以小车对凹形桥模拟器在最低点时的压力 $F=(1.81-1.00)\times 9.8\ \text{N}\approx 7.9\ \text{N}$,

根据牛顿第三定律,小车在最低点时所受的支持力 $F'=F$,

小车质量 $m=1.40\ \text{kg}-1.00\ \text{kg}=0.40\ \text{kg}$,

小车在凹形桥最低点时,由牛顿第二定律,有 $F'-mg=m\dfrac{v^2}{R}$,

解得 $v\approx 1.4\ \text{m/s}$.

[**答案**]

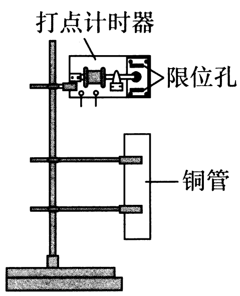
(2)1.40 (4)7.9 1.4

[**感悟方法**]

本题是典型的计算型实验题. 从情景看,本质为"一动一静"连接体问题. 凹形桥处于静止状态,玩具小车在做竖直平面内的圆周运动. 一般采用隔离分析的方法来求解.

题型 4 探究磁铁受电磁阻尼作用的运动规律

【例 4】(2015·江苏卷)某同学探究小磁铁在铜管中下落时受电磁阻尼作用的运动规律. 实验装置如图甲所示,打点计时器的电源为 50 Hz 的交流电.



甲

(1)下列实验操作中,不正确的有________.

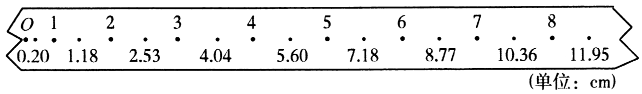
A. 将铜管竖直地固定在限位孔的正下方

B. 纸带穿过限位孔,压在复写纸下面

C. 用手捏紧磁铁保持静止,然后轻轻地松开让磁铁下落

D. 在磁铁下落的同时接通打点计时器的电源

(2)该同学按正确的步骤进行实验(记为“实验①”),将磁铁从管口处释放,打出一条纸带,取开始下落的一段,确定一合适的点为 O 点,每隔一个计时点取一个计数点,标计为 1,2,…,8. 用刻度尺量出各计数点的相邻两计时点到 O 点的距离,记录在纸带上,如图乙所示.



乙

计算相邻计时点间的平均速度$\bar{v}$,粗略地表示各计数点的速度,抄入下表. 请将表中的数据补充完整.

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{v}$(cm/s)	24.5	33.8	37.8	____	39.5	39.8	39.8	39.8

(3)分析上表的实验数据可知:在这段纸带记录的时间内,磁铁运动速度的变化情况是________;磁铁受到阻尼作用的变化情况是________.

(4)该同学将装置中的铜管更换为相同尺寸的塑料管,重复上述实验操作(记为“实验②”),结果表明磁铁下落的运动规律与自由落体运动规律几乎相同. 请问实验②是为了说明什么?对比实验①和②的结果可得到什么结论?

● 解析

[分析]

(1)小磁铁竖直下落,穿过铜管,所以铜管要竖直地固定在限位孔的正下方,所以 A 正确;纸带要穿过限位孔,并且压在复写纸下面,所以 B 正确;手应该拉住纸带,而不是捏紧磁铁,所以 C 错误;应该先接通打点计时器的电源,再让磁铁下落,所以 D 错误;本题选错误的,故选 CD.

(2)计数点 4 的速度用它两侧计时点之间的平均速度来表示,所以

$$v_4 = \frac{5.60 - 4.04}{0.04}\ \text{cm/s} = 39.0\ \text{cm/s}.$$

●解析

(3)根据实验数据可知,在这段纸带记录的时间内,磁铁运动速度的变化情况是逐渐增大到39.8 cm/s,之后匀速运动,说明磁铁受到的阻尼作用逐渐增大,最后等于重力的大小.

(4)磁铁在塑料管中不会产生电磁感应现象,不受阻尼作用的影响,对比实验①和②可知,磁铁在铜管中受到的阻尼作用主要是电磁阻尼作用.

[**答案**]

(1)CD　(2)39.0

(3)逐渐增大到39.8 cm/s　逐渐增大到等于重力

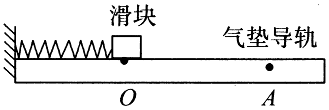
(4)为了说明磁铁在塑料管中几乎不受阻尼作用　磁铁在铜管中受到的阻尼作用主要是电磁阻尼作用

[**感悟方法**]

本题是一个“力电综合类实验题”,通过对纸带运动情况的分析,来判断磁铁在管中运动的情况,从而推知电磁感应对运动情况的影响,抓住问题的本质即可解决本题.

实战演练

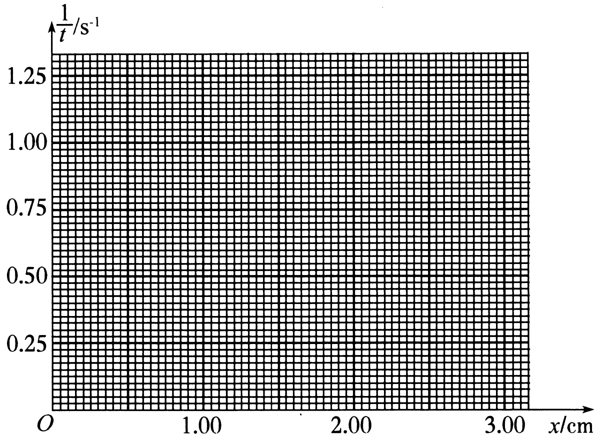
1.(2012·海南卷)一水平放置的轻弹簧,一端固定,另一端与一小滑块接触,但不粘连;初始时滑块静止于水平气垫导轨上的 O 点,如图(a)所示. 现利用此装置探究弹簧的弹性势能 E_p 与其被压缩时长度的改变量 x 的关系,先推动小滑块压缩弹簧,用米尺测出 x 的数值;然后将小滑块从静止释放。用计时器测出小滑块从 O 点运动至气垫导轨上另一固定点 A 所用的时间 t. 多次改变 x,测得的 x 值及其对应的 t 值如下表所示.(表中的 $\frac{1}{t}$ 值是根据 t 值计算得出的).



图(a)

x(cm)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
t(s)	3.33	2.20	1.60	1.32	1.08
$\frac{1}{t}$(s^{-1})	0.300	0.455	0.625	0.758	0.926

(1)根据表中数据,在图(b)中的方格纸上作图线.



图(b)

(2)回答下列问题:(不要求写出计算或推导过程)

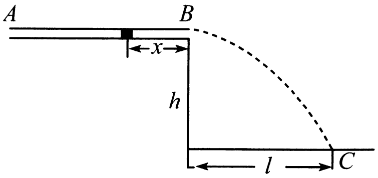
①已知点(0,0)在$\frac{1}{t}$-x 图线上,从$\frac{1}{t}$-x 图线看,$\frac{1}{t}$与 x 是什么关系?

②从理论上分析,小滑块刚脱离弹簧时的动能 E_k 与$\frac{1}{t}$是什么关系(不考虑摩擦力)?

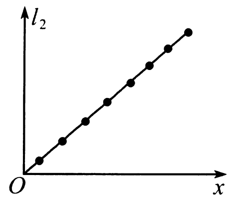
③当弹簧长度改变量为 x 时,弹性势能 E_p 与相应的 E_k 是什么关系?

④综合考虑以上分析,E_p 与 x 是什么关系?

2. (2009・上海卷)利用图(a)实验可粗略测量人吹气产生的压强. 两端开口的细玻璃管水平放置,管内塞有潮湿小棉球,实验者从玻璃管的一端 A 吹气,棉球从另一端 B 飞出,测得玻璃管内部截面积 S,距地面高度 h,棉球质量 m,开始时的静止位置与管口 B 的距离 x,落地点 C 与管口 B 的水平距离 l. 然后多次改变 x,测出对应的 l,画出 l^2-x 关系图线,如图(b)所示,并由此得出相应的斜率 k.



(a)



(b)

(1)若不计棉球在空中运动时的空气阻力,根据以上测得的物理量可得,棉球从 B 端飞出的速度 v_0 = ________.

(2)假设实验者吹气能保持玻璃管内气体压强始终为恒定值,不计棉球与管壁的摩擦,重力加速度 g,大气压强 p_0 均为已知,利用图(b)中拟合直线的斜率 k 可得,管内气体压强 p = ________.

(3)考虑到实验时棉球与管壁间有摩擦,则(2)中得到的 p 与实际压强相比________(填"偏大"或"偏小").

3. (2014・重庆卷)为了研究人们用绳索跨越山谷过程中绳索拉力的变化规律,同学们设计了如图 1 所示的实验装置. 他们将不可伸长轻绳的两端通过测力计(不计质量及长度)固定在相距为 D 的两立柱上,固定点分别为 P 和 Q,P 低于 Q,绳长为 $L(L>\overline{PQ})$.

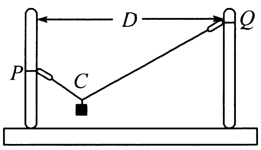


图 1

他们首先在绳上距离 P 点 10 cm 处(标记为 C)系上质量为 m 的重物(不滑动),由测力计读出绳 PC、QC 的拉力大小 T_P、T_Q,随后,改变重物悬挂点 C 的位置,每次将 P 到 C 点的距离增加 10 cm,并读出测力计的示数,最后得到 T_P、T_Q 与绳长 $\overline{PC}$ 的关系曲线如图 2 所示. 由实验可知:

(1)曲线Ⅱ中拉力最大时,C 与 P 点的距离为________cm,该曲线为________(选填“T_P”或“T_Q”)的曲线.

(2)在重物从 P 移到 Q 的整个过程中,受到最大拉力的是________(选填“P”或“Q”)点所在的立柱.

(3)曲线Ⅰ、Ⅱ相交处,可读出绳的拉力 T_0 =________N,它与 L、D、m 和重力加速度 g 的关系为 T_0 =________.

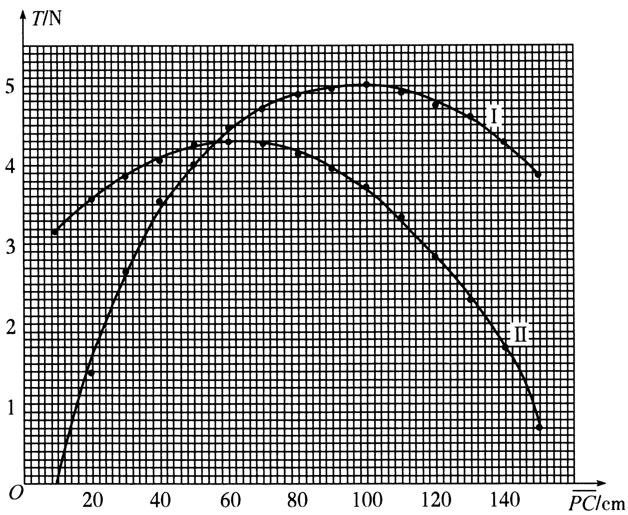


图 2

4. (2005·上海卷)科学探究活动通常包括以下环节:提出问题,作出假设,制定计划,搜集证据,评估交流等. 一组同学研究“运动物体所受空气阻力与其运动速度关系”的探究过程如下:

A. 有同学认为:运动物体所受空气阻力可能与其运动速度有关.

B. 他们计划利用一些“小纸杯”作为研究对象,用超声波测距仪等仪器测量“小纸杯”在空中直线下落时的下落距离、速度随时间变化的规律,以验证假设.

C. 在相同的实验条件下,同学们首先测量了单只“小纸杯”在空中下落过程中不同时刻的下落距离,将数据填入下表中,图(a)是对应的位移—时间图线. 然后将不同数量的“小纸杯”叠放在一起从空中下落,分别测出它们的速度—时间图线,如图(b)中图线1、2、3、4、5 所示.

D. 同学们对实验数据进行分析、归纳后,证实了他们的假设.

回答下列提问：

(1)与上述过程中 A、C 步骤相应的科学探究环节分别是__________，__________.

(2)图(a)中的 AB 段反映了运动物体在做________运动，表中 X 处的值为________.

(3)图(b)中各条图线具有共同特点："小纸杯"在下落开始阶段做________运动，最后"小纸杯"做________运动.

(4)比较图(b)中的 1 和 5，指出在 1.0 ~ 1.5 s 时间段内，速度随时间变化关系的差异：

____

____

时间(s)	下落距离(m)
0.0	0.000
0.4	0.036
0.8	0.469
1.2	0.957
1.6	1.447
2.0	X

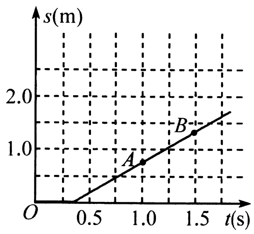


图 (a)

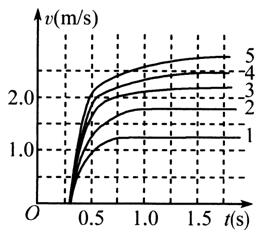


图 (b)

专题十一　电阻测量及测定金属的电阻率

典例剖析

题型1：伏安法测电阻

【例1】(2018·天津卷)某同学用伏安法测定待测电阻 R_x 的阻值(约为 10 kΩ),除了 R_x、开关 S、导线外,还有下列器材供选用:

A. 电压表(量程 0~1 V,内阻约 10 kΩ)

B. 电压表(量程 0~10 V,内阻约 100 kΩ)

C. 电流表(量程 0~1 mA,内阻约 30 Ω)

D. 电流表(量程 0~0.6 A,内阻约为 0.05 Ω)

E. 电源(电动势 1.5 V,额定电流 0.5 A,内阻不计)

F. 电源(电动势 12 V,额定电流 2 A,内阻不计)

G. 滑动变阻器 R_0(阻值范围 0~10 Ω,额定电流 2 A)

(1)为使测量尽量准确,电压表选用________,电流表选用________,电源选用________.(均填器材的字母代号)

(2)画出测量 R_x 阻值的实验电路图.

(3)该同学选择器材、连接电路和操作均正确,从实验原理上看,待测电阻测量值会________其真实值(填“大于”“小于”或“等于”),原因是____________________.

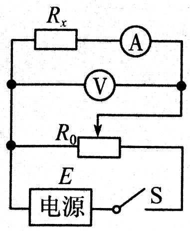
●解析

[分析]

(1)若选用电源 1.5 V,由于被测电阻很大,电路中电流非常小,不利于实验,即电源应该选 F;则电压表应该选 B;电路中的最大电流为 $I=\frac{12}{10\,000}$ A=1.2 mA,故电流表应该选 C.

●解析

(2)因为给的滑动变阻器的最大阻值只有10 Ω,若采用限流接法,则电路中电流和电压变化不明显,故采用滑动变阻器的分压接法,由于$\frac{R_V}{R_x}<\frac{R_x}{R_A}$,所以采用电流表内接法,电路图如图所示.



(3)由于电流表的分压,导致电压测量值偏大,而电流准确,根据$R_x=\frac{U}{I}$可知测量值偏大.

[**答案**]

(1)B C F (2)如解析图所示 (3)大于 电压表的读数大于待测电阻两端实际电压(其他正确表述也可)

[**感悟方法**]

伏安法测电阻关键考虑的两个选用原则:

1. 滑动变阻器的分压接法和限流接法的选用

选用原则:

(1)优先选用限流接法,因为电路结构简单,耗能较少;

(2)下列情况之一者,须选用分压接法:

①当测量电路的电阻远大于滑动变阻器阻值,采用限流法不能满足要求时(本题就是该例子);

②当实验要求多测几组数据(电压变化范围大),或要求电压从零开始调节时;

③电源电动势比电压表量程大得多,限流法滑动变阻器调到最大仍超过电压表量程时.

2. 电流表内接和外接的选用

当$R_x \gg R_A$时,宜采用内接法,即大电阻用内接法;

当$R_x \ll R_V$时,宜采用外接法,即小电阻用外接法. 可记忆为“大内,小外”.

题型2：比较法测电阻

【例2】(2018·全国卷Ⅲ)一课外实验小组用如图所示的电路测量某待测电阻 R_x 的阻值，图中 R_0 为标准定值电阻($R_0=20.0\ \Omega$)；V 可视为理想电压表；S_1 为单刀开关，S_2 为单刀双掷开关；E 为电源；R 为滑动变阻器. 采用如下步骤完成实验：

(1)按照实验原理线路图(a)，将图(b)中实物连线；

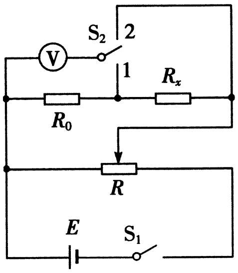


图 (a)

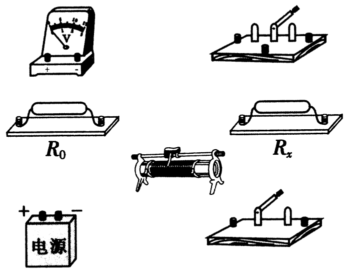


图 (b)

(2)将滑动变阻器滑动端置于适当的位置，闭合 S_1；

(3)将开关 S_2 掷于1端，改变滑动变阻器滑动端的位置，记下此时电压表 V 的示数 U_1；然后将 S_2 掷于2端，记下此时电压表 V 的示数 U_2；

(4)待测电阻阻值的表达式 $R_x=$________(用 R_0、U_1、U_2 表示)；

(5)重复步骤(3)，得到如下数据：

	1	2	3	4	5
U_1/V	0.25	0.30	0.36	0.40	0.44
U_2/V	0.86	1.03	1.22	1.36	1.49
$\frac{U_2}{U_1}$	3.44	3.43	3.39	3.40	3.39

(6)利用上述5次测量所得 $\frac{U_2}{U_1}$ 的平均值，求得 $R_x=$________Ω.(保留1位小数)

●解析

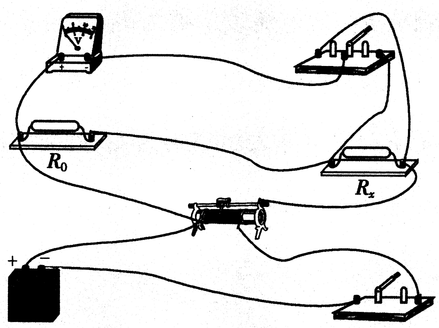
［**分析**］

(4)开关 S_2 掷于1端，由欧姆定律可得通过 R_x 的电流 $I=\frac{U_1}{R_0}$，将开关 S_2 掷于2端，R_0 和 R_x 串联电路电压为 U_2，R_x 两端电压为 $U=U_2-U_1$，由欧姆定律可得待测电阻阻值 $R_x=\frac{U}{I}=\frac{U_2-U_1}{U_1}R_0=\left(\frac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$.

(6)5次测量所得 $\frac{U_2}{U_1}$ 的平均值为 $\frac{1}{5}(3.44+3.43+3.39+3.40+3.39)=3.41$，代入 $R_x=\left(\frac{U_2}{U_1}-1\right)R_0=(3.41-1)\times 20.0\ \Omega=48.2\ \Omega$.

［**答案**］

(1)如图所示：



(4) $\left(\frac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$

(6)48.2

［**感悟方法**］

比较法测电阻根据的是“串联分压”与“并联分流”原理.

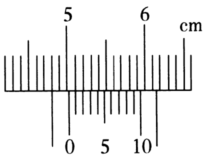
1. **串联分压**：串联电路中，电压与电阻成正比.

2. **并联分流**：并联电路中，电流与电阻成反比.

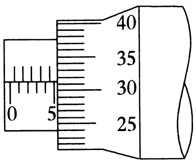
题型3：替代法测电阻

【例3】(2012·广东卷)某同学测量一个圆柱体的电阻率,需要测量圆柱体的尺寸和电阻。

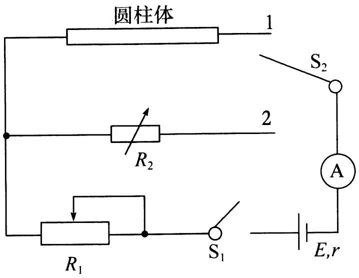
(1)分别使用游标卡尺和螺旋测微器测量圆柱体的长度和直径,某次测量的示数如图(a)和图(b)所示,长度为________cm,直径为________mm.



图(a)



图(b)



图(c)

(2)按图(c)连接电路后,实验操作如下:

①将滑动变阻器R_1的阻值置于最______处(填“大”或“小”);将S_2拨向接点1,闭合S_1,调节R_1,使电流表示数为I_0;

②将电阻箱R_2的阻值调至最________(填“大”或“小”),S_2拨向接点2;保持R_1不变,调节R_2,使电流表示数仍为I_0,此时R_2阻值为1 280 Ω;

③由此可知,圆柱体的电阻为______ Ω.

●解析

[**分析**]

(1)游标卡尺的读数步骤如下.首先,确定游标卡尺的精度为10分度,即为0.1 mm,然后以毫米为单位从主尺上读出整毫米数50.0 mm,注意小数点后的有效数字要与精度一样,再从游标尺上找出对齐的一根刻度线,精度×格数$=0.1\times1\ \text{mm}=0.1\ \text{mm}$,最后两者相加,根据题目单位要求换算为需要的数据,游标卡尺的读数为$l=(50+0.1\times1)\ \text{mm}=50.1\ \text{mm}=5.01\ \text{cm}$.

螺旋测微器的读数步骤如下.首先,确定从主尺读出毫米数为5.000 mm,可动刻度与主尺对齐个数为31.5(格),读数为0.315 mm,则螺旋测微器读数为$d=(5+31.5\times0.01)\ \text{mm}=5.315\ \text{mm}$.

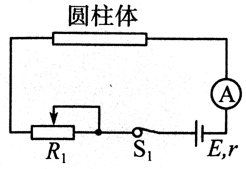
●解析

(2)①为保护电路使电路中电流不会超出电流表量程,应将滑动变阻器接入电路的阻值置于最大处.

②为使电路中电流较小,使电流表示数逐渐变大,电阻箱阻值也应先调至最大.

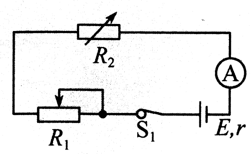
(3)将 S_1 闭合,S_2 拨向接点 1 时,其等效电路图如图甲所示.

由闭合电路欧姆定律得 $I_0=\dfrac{E}{R+R_1+R_A+r}$,其中 R 表示圆柱体的电阻.



甲

将 S_2 拨向接点 2 时,其等效电路图如图乙所示.



乙

由闭合电路欧姆定律得 $I_0=\dfrac{E}{R_2+R_1+R_A+r}$

由等量代换可得 $R=R_2=1\ 280\ \Omega$.

[**答案**]

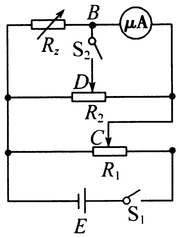
(1)5.01　5.315　(2)①大　②大　(3)1 280

[**感悟方法**]

替代法测电阻,将待测电阻与已知阻值的电阻先后接入电路,达到的效果相同,那么待测电阻的阻值就等于已知电阻的阻值."先后接入"说明待测阻值与已知阻值的电阻呈"并联"状态,开关可以选择单刀双掷开关,"效果相同"说明需要一个监控效果的仪器,电压表和电流表均可.为了测量的方便,已知阻值的电阻往往用电阻箱代替.

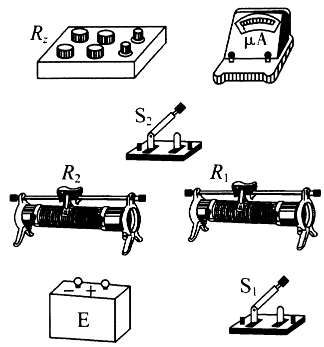
题型4：电桥法测电阻

【例4】(2017·全国卷Ⅱ)某同学利用如图(a)所示的电路测量一微安表(量程为100 μA，内阻大约为2 500 Ω)的内阻.可使用的器材有：两个滑动变阻器R_1、R_2(其中一个阻值为20 Ω，另一个阻值为2 000 Ω)；电阻箱R_z(最大阻值为99 999.9 Ω)；电源E(电动势约为1.5 V)；单刀开关S_1和S_2. C、D分别为两个滑动变阻器的滑片.



图(a)

(1)按原理图(a)将图(b)中的实物连线.



图(b)

(2)完成下列填空：

①R_1的阻值为________Ω(填“20”或“2 000”).

②为了保护微安表，开始时将R_1的滑片C滑到接近图(a)中滑动变阻器的________端(填“左”或“右”)对应的位置；将R_2的滑片D置于中间位置附近.

③将电阻箱R_z的阻值置于2 500.0 Ω，接通S_1.将R_1的滑片置于适当位置，再反复调节R_2的滑片D的位置.最终使得接通S_2前后，微安表的示数保持不变，这说明S_2接通前B与D所在位置的电势________(填“相等”或“不相等”).

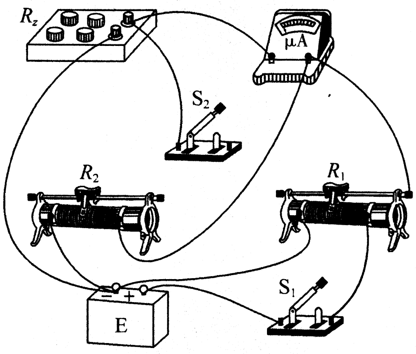
④将电阻箱R_z和微安表位置对调，其他条件保持不变，发现将R_z的阻值置于2 601.0 Ω时，在接通S_2前后，微安表的示数也保持不变.待测微安表的内阻为________Ω(结果保留到个位).

(3)写出一条提高测量微安表内阻精度的建议：________________________.

●解析

［**分析**］

(1)实物连线如图所示：



图(b)

(2)①滑动变阻器 R_1 采用分压式接法，为了方便调节要选择阻值较小的滑动变阻器；

②为了保护微安表，开始时将 R_1 的滑片 C 滑到滑动变阻器的左端对应的位置；

③将电阻箱 R_z 的阻值置于 2 500.0 Ω，接通 S_1；将 R_1 的滑片置于适当位置，再反复调节 R_2 的滑片 D 的位置；最终使得接通 S_2 前后，微安表的示数保持不变，说明 S_2 接通前后在 BD 中无电流流过，可知 B 与 D 所在位置的电势相等；

④设滑片 D 两侧电阻分别为 R_{21} 和 R_{22}，由 B 与 D 所在位置的电势相等可知，$\frac{R_{z1}}{R_{21}}=\frac{R_{MA}}{R_{22}}$；同理，当 R_z 和微安表对调时，仍有 $\frac{R_{\mu A}}{R_{21}}=\frac{R_{z2}}{R_{22}}$；联立两式解得，$R_{\mu A}=\sqrt{R_{z1}R_{z2}}=\sqrt{2\ 500.0\times 2\ 601.0}\ \Omega=2\ 550\ \Omega$.

(3)为了提高测量精度，应调节 R_1 上的分压，尽可能使微安表接近满量程.

［**答案**］

(1)如解析图所示

(2)①20　②左　③相等　④2 550

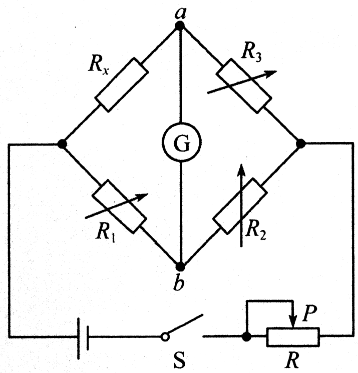
(3)调节 R_1 上的分压，尽可能使微安表接近满量程

●解析

[**感悟方法**]

电桥法也叫惠斯通电桥法

如图所示电路中，R_1、R_2 和 R_3 是电阻箱，R_x 是待测电阻，接在电路中 a、b 两点的是灵敏电流表 G.



实验时，首先将限流电阻 R 的阻值和电阻箱 R_1、R_2 和 R_3 的阻值均调节至最大. 然后合上开关 S，先调节限流电阻 R 的阻值，后调节电阻箱 R_1、R_2 和 R_3 的阻值，逐渐使灵敏电流表 G 的示数为零.

当灵敏电流表 G 的示数为零时，则 a、b 两点电势相等. 即：$\varphi_a=\varphi_b$

所以通过 R_1、R_2 的电流相等：$I_1=I_2$

通过 R_x、R_3 的电流相等：$I_x=I_3$

$I_1R_1=I_xR_x$，$I_2R_2=I_3R_3$

由以上四式得：$R_x=\dfrac{R_1\cdot R_3}{R_2}$.

实战演练

1. (2014·江苏卷)某同学通过实验测量一种合金的电阻率.

(1)用螺旋测微器测量合金丝的直径. 为防止读数时测微螺杆发生转动，读数前应先旋紧如图 1 所示的部件________(选填“A”“B”“C”或“D”). 从图中的示数可读出合金丝的直径为________mm.

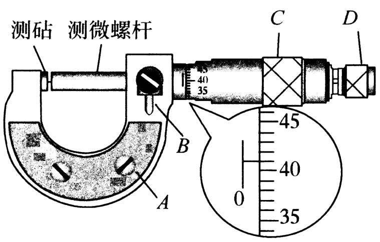


图 1

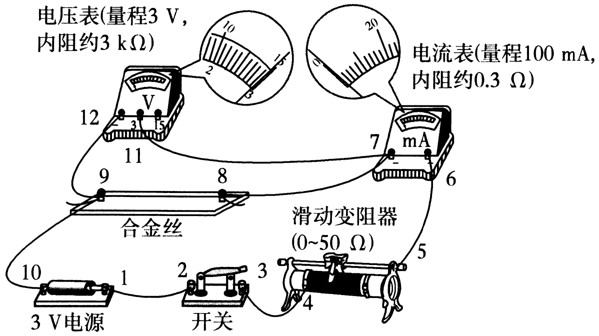
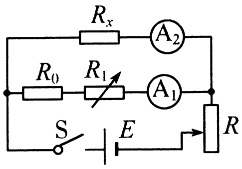


图 2

(2)如图 2 所示是测量合金丝电阻的电路,相关器材的规格已在图中标出. 合上开关,将滑动变阻器的滑片移到最左端的过程中,发现电压表和电流表的指针只在图示位置发生很小的变化. 由此可以推断:电路中________(选填图中表示接线柱的数字)之间出现了________(选填“短路”或“断路”).

(3)在电路故障被排除后,调节滑动变阻器,读出电压表和电流表的示数分别为 2.23 V 和 38 mA,由此,该同学算出接入电路部分的合金丝的阻值为 58.7 Ω. 为了更准确地测出合金丝的阻值,在不更换实验器材的条件下,对实验应作怎样的改进? 请写出两条建议.

2.（2014·四川卷）如图是测量阻值约几十欧的未知电阻 R_x 的原理图，图中 R_0 是保护电阻（10 Ω），R_1 是电阻箱（0～99.9 Ω），R 是滑动变阻器，A_1 和 A_2 是电流表，E 是电源（电动势 10 V，内阻很小）.在保证安全和满足要求的情况下，使测量范围尽可能大.实验具体步骤如下：

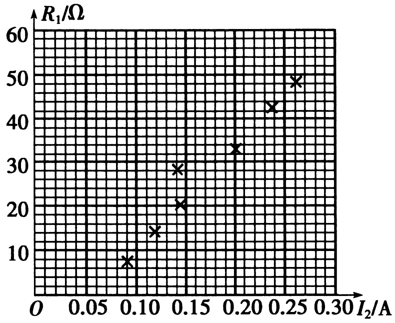


（ⅰ）连接好电路，将滑动变阻器 R 调到最大；

（ⅱ）闭合 S，从最大值开始调节电阻箱 R_1，先调 R_1 为适当值，再调节滑动变阻器 R，使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A，记下此时电阻箱的阻值 R_1 和 A_2 的示数 I_2；

（ⅲ）重复步骤（ⅱ），再测量 6 组 R_1 和 I_2 值；

（ⅳ）将实验测得的 7 组数据在坐标纸上描点.



根据实验回答以下问题：

（1）现有四只供选用的电流表：

A. 电流表（0～3 mA，内阻为 2.0 Ω）

B. 电流表（0～3 mA，内阻未知）

C. 电流表（0～0.3 A，内阻为 5.0 Ω）

D. 电流表（0～0.3 A，内阻未知）

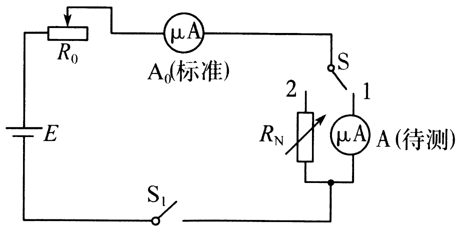
A_1 应选用________，A_2 应选用________.

（2）测得一组 R_1 和 I_2 值后，调整电阻箱 R_1，使其阻值变小，要使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A，应让滑动变阻器 R 接入电路的阻值________（选填“不变”“变大”或“变小”）.

（3）在坐标纸上画出 R_1 与 I_2 的关系图.

（4）根据以上实验得出 $R_x=$________ Ω.

3. (2011・全国卷)为了测量一微安表头 A 的内阻,某同学设计了如图所示的电路. 图中,A_0 是标准电流表,R_0 和 R_N 分别是滑动变阻器和电阻箱,S 和 S_1 分别是单刀双掷开关和单刀开关,E 是电池. 完成下列实验步骤中的填空:



(1)将 S 拨向接点 1,接通 S_1,调节________,使待测表头指针偏转到适当位置,记下此时________的读数 I;

(2)然后将 S 拨向接点 2,调节________,使________,记下此时 R_N 的读数;

(3)多次重复上述过程,计算 R_N 读数的________,此即为待测微安表头内阻的测量值.

4. (2016・浙江卷)某同学用伏安法测量导体的电阻,现有量程为 3 V、内阻约为 3 kΩ 的电压表和量程为 0.6 A、内阻约为 0.1 Ω 的电流表. 采用分压电路接线,图 1 是实物的部分连线图,待测电阻为图 2 中的 R_1,其阻值约为 5 Ω.

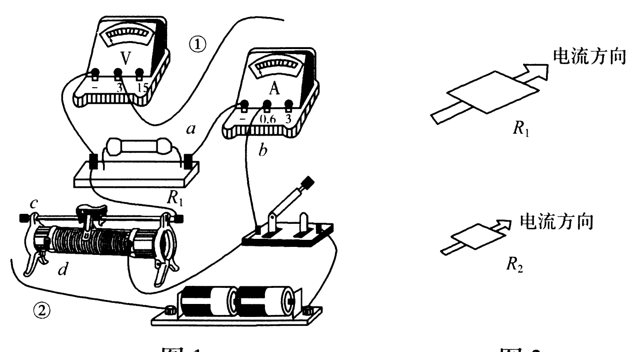


图 1　　图 2

(1)测 R_1 阻值的最优连接方式为导线①连接________(填"a"或"b")、导线②连接________(填"c"或"d").

(2)正确接线测得实验数据如表,用作图法求得 R_1 的阻值为________Ω.

U/V	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40
I/A	0.09	0.19	0.27	0.35	0.44	0.53

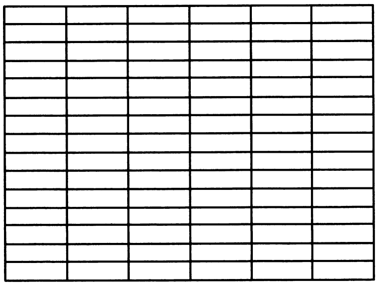


图 3

(3)已知图 2 中 R_2 与 R_1 是材料相同、厚度相等、表面为正方形的两导体,R_2 的边长是 R_1 的$\frac{1}{10}$,若测 R_2 的阻值,则最优的连线应选________(填选项).

A. ①连接 a,②连接 c

B. ①连接 a,②连接 d

C. ①连接 b,②连接 c

D. ①连接 b,②连接 d

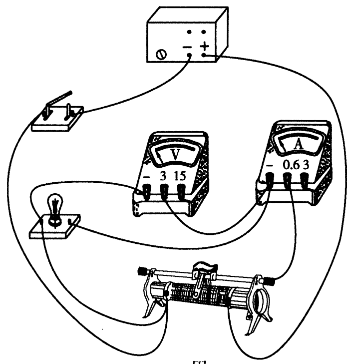
专题十二　描绘小电珠的伏安特性曲线

典例剖析

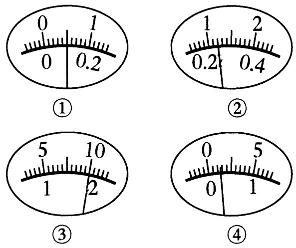
题型 1：描绘小电珠的伏安特性曲线

【例 1】(2015 · 浙江卷)图甲是小红同学在做“描绘小灯泡的伏安特性曲线”实验的实物连接图.

(1)根据图甲画出实验电路图；



甲



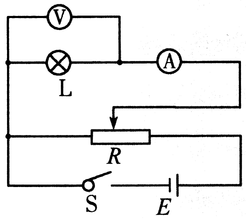
乙

(2)调节滑动变阻器得到了两组电流表与电压表的示数如图乙中的①、②、③、④所示,电流表量程为 0.6 A,电压表量程为 3 V. 所示读数为:①________、②________、③________、④________. 两组数据得到的电阻分别为________和________.

●解析

［分析］

(1)根据实物图可知,滑动变阻器起分压作用,电压表测量小灯泡两端的电压,电流表外接,故画出的电路图如图所示.



(2)电流表量程为0.6 A,电压表量程为3 V,因此①的读数为0.10 A,②的读数为0.24 A,③的读数为2.00 V,④的读数为0.27 V.两组数据得到的电阻 $R_1=\frac{U_1}{I_1}=\frac{2.00}{0.24}\ \Omega\approx8.3\ \Omega$, $R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{0.27}{0.10}\ \Omega=2.7\ \Omega$.

［答案］

(1)如解析图所示

(2)① 0.10 A　② 0.24 A　③ 2.00 V　④ 0.27 V　8.3 Ω(8.2~8.4 Ω均可)　2.7 Ω(2.6~2.8 Ω均可)(最后两空答案互换位置也正确)

［感悟方法］

1. **选择分压电路的原因:**由于描绘小灯泡的伏安特性曲线要求电压从零开始变化,所以应该选择分压式电路.
2. **电压表电流表的读数方法:**0.6 A量程的电流表最小刻度为0.02 A,应该是本位估读,所以小数位数为两位;3 V量程的电压表最小刻度为0.1 A,应该是下位估读,所以小数位数也为两位.
3. **注意冷热电阻问题:**一般地小灯泡的电阻随温度变化明显,用多用电表欧姆挡测量常温电阻与灯泡正常工作时的电阻相差较大,同学们要特别注意.

题型2：电表改装与伏安特性曲线结合

【例2】(2016·天津卷)某同学想要描绘标有“3.8 V,0.3 A”字样小灯泡L的伏安特性曲线,要求测量数据尽量精确、绘制曲线完整.可供该同学选用的器材除开关、导线外,还有：

电压表V_1(量程0~3 V,内阻等于3 kΩ)

电压表V_2(量程0~15 V,内阻等于15 kΩ)

电流表A_1(量程0~200 mA,内阻等于10 Ω)

电流表A_2(量程0~3 A,内阻等于0.1 Ω)

滑动变阻器R_1(0~10 Ω,额定电流2 A)

滑动变阻器R_2(0~1 kΩ,额定电流0.5 A)

定值电阻R_3(阻值等于1 Ω)

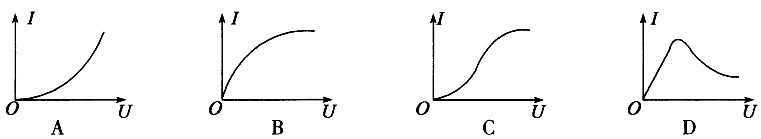
定值电阻R_4(阻值等于10 Ω)

定值电阻R_5(阻值等于1 kΩ)

电源E(E=6 V,内阻不计)

(1)请画出实验电路图,并将各元件字母代码标在该元件的符号旁.

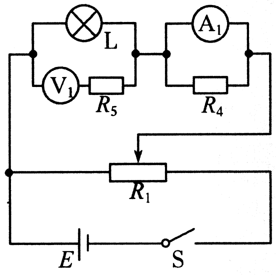
(2)该同学描绘出的I-U图象应是下图中的________.



解析

[分析]

(1)题目要求绘制曲线完整,电路连接应选用分压接法,又 $R_L=\frac{U}{I}\approx 13\ \Omega$,所以滑动变阻器应选 R_1,由于灯泡额定电压为 3.8 V,V_2 量程为 15 V 太大,不宜选用,V_1 量程略小,串联电阻 R_5 改装成 4 V 量程正合适. 由于灯泡额定电流为 0.3 A,A_2 量程太大,不宜选用,A_1 量程略小. 并联 R_4 改装成 0.4 A 量程正合适. 改装后 $R'_A=5\ \Omega$,$R'_V=4\ k\Omega$,$R_L<\sqrt{R'_A R'_V}$,应选用外接法,如图所示.



(2)小灯泡灯丝为金属,温度升高电阻增大,只有 B 正确.

[答案]

(1)如解析图所示 (2)B

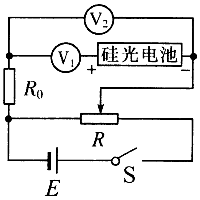
[感悟方法]

本题的难点在于伏特表与电流表的量程不够,要根据题意,灵活进行量程改造.

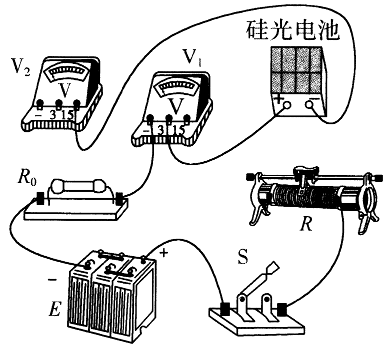
题型 3:其他元件的伏安特性曲线

【例 3】(2013·福建卷)硅光电池在无光照时不产生电能,可视为一电子元件. 某实验小组设计如图甲电路,给硅光电池加反向电压(硅光电池负极接高电势点,正极接低电势点),探究其在无光照时的反向伏安特性. 图中电压表的 V_1 量程选用 3 V,内阻为 6.0 kΩ;电压表 V_2 量程选用 15 V,内阻约为 30 kΩ;R_0 为保护电阻;直流电源电动势 E 约为 12 V,内阻不计.

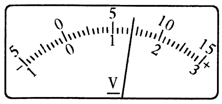
(1)根据图甲,用笔画线代替导线,将图乙连接成完整电路.



甲



乙



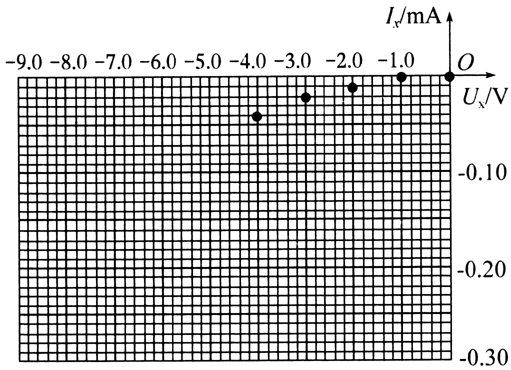
丙

(2)用遮光罩罩住硅光电池,闭合开关 S,调节变阻器 R,读出电压表 V_1、V_2 的示数 U_1、U_2.

①某次测量时,电压表 V_1 示数如图丙,则 U_1 = ________ V,可算出通过硅光电池的反向电流大小为________ mA(保留两位小数).

②该小组测出大量数据,筛选出下表所示的 9 组 U_1、U_2 数据,算出相应的硅光电池两端反向电压 U_x 和通过的反向电流 I_x(表中“ - ”表示反向),并在坐标纸上建立 I_x-U_x 坐标系,标出了与表中前 5 组 U_x、I_x 数据对应的 5 个坐标点. 请你标出余下的 4 个坐标点,并绘出 I_x-U_x 图线.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_1/V	0.00	0.00	0.06	0.12	0.24	0.42	0.72	1.14	1.74
U_2/V	0.0	1.0	2.1	3.1	4.2	5.4	6.7	8.1	9.7
U_x/V	0.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
I_x/mA	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.12	-0.19	-0.29



③由 I_x-U_x 图线可知，硅光电池无光照下加反向电压时，I_x 与 U_x 成________（填“线性”或“非线性”）关系.

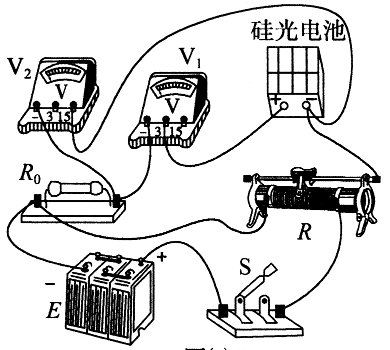
●解析

［分析］

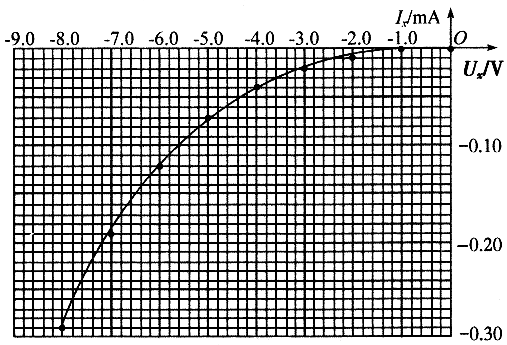
(1)根据图甲，将图乙连接成完整电路，如图(a)所示.

(2)①V_1 选用的是 3 V 量程，则刻度盘的最小分度为 0.1 V，根据电表的读数原则知 $U_1=14.0\times0.1\ \text{V}=1.40\ \text{V}$，$I_1=\dfrac{U_1}{R_{V1}}\approx0.23$ mA. ②描点绘图如图(b)所示.

③由于绘出的 I_x-U_x 图象不是直线，即 I_x 与 U_x 成非线性关系.



图(a)



图(b)

［答案］

(1)如解析图(a)所示

(2)①1.40　0.23　②描点绘出 I_x-U_x 图线，如解析图(b)所示　③非线性

●解析

［**感悟方法**］

1. **类比迁移**:本题虽然是描绘硅光电池的伏安特性曲线,但其方法与描绘小灯泡的伏安特性曲线相同.

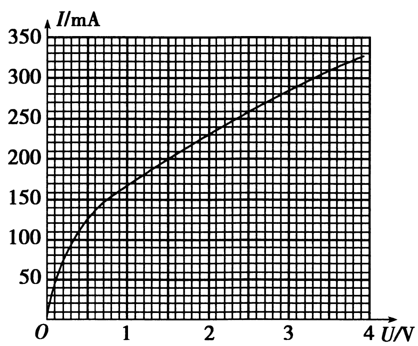
2. **角色扮演**:题给条件少了电流表,但提供了一个已知内阻的电压表. 电压表 V_1 量程选用 3 V,内阻为 6.0 kΩ,这就意味着这个电压表的多角色扮演,充当电压表、电流表、定值电阻均可,同学们按需要选用.

题型 4:两类伏安特性曲线的结合

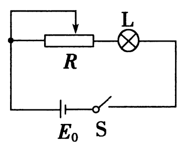
【例 4】(2017·全国卷Ⅰ)某同学研究小灯泡的伏安特性. 所使用的器材有:小灯泡 L(额定电压 3.8 V,额定电流 0.32 A);电压表 V(量程 3 V,内阻 3 kΩ);电流表 A(量程 0.5 A,内阻 0.5 Ω);固定电阻 R_0(阻值 1 000 Ω);滑动变阻器 R(阻值 0~9.0 Ω);电源 E(电动势 5 V,内阻不计);开关 S;导线若干.

(1)实验要求能够实现在 0~3.8 V 的范围内对小灯泡的电压进行测量,画出实验电路原理图.

(2)实验测得该小灯泡伏安特性曲线如图(a)所示. 由实验曲线可知,随着电流的增加小灯泡的电阻________(填"增大""不变"或"减小"),灯丝的电阻率________(填"增大""不变"或"减小").



图(a)



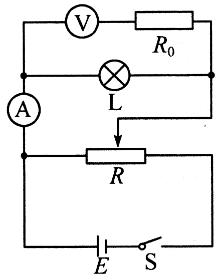
图(b)

(3)用另一电源 E_0(电动势 4 V,内阻 1.00 Ω)和题给器材连接成图(b)所示的电路,调节滑动变阻器 R 的阻值,可以改变小灯泡的实际功率. 闭合开关 S,在 R 的变化范围内,小灯泡的最小功率为________W,最大功率为________W.(结果均保留 2 位小数)

● 解析

[分析]

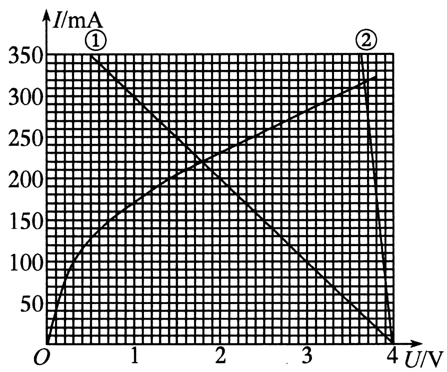
(1)电压表量程为3 V,要求能够实现在0~3.8 V的范围内对小灯泡的电压进行测量,需要给电压表串联一个定值电阻扩大量程,题目中要求小灯泡两端电压从零开始,故滑动变阻器用分压式接法,小灯泡的电阻$R_L=\frac{U}{I}=\frac{3.8}{0.32}\ \Omega=11.875\ \Omega$,因$\frac{R_L}{R_A}<\frac{R_V}{R_L}$,故电流表用外接法,实验电路原理图如图甲所示.



甲

(2)由I-U图象知,图象中的点与坐标原点连线的斜率在减小,表示灯泡的电阻随电流的增大而增大,根据电阻定律$R=\rho\frac{l}{S}$知,灯丝的电阻率增大.

(3)当滑动变阻器的阻值最大为9.0 Ω时,电路中的电流最小,灯泡实际功率最小,由$E_0=U+I(R+r)$得$U=-10I+4$,作出图线①如图乙所示.



乙

由交点坐标可得$U_1=1.78\ \text{V}$,$I_1=221\ \text{mA}$,$P_1=U_1I_1\approx0.39\ \text{W}$;

当滑动变阻器电阻值$R=0$时,灯泡消耗的功率最大,由$E_0=U+I(R+r)$得,$I=-U+4$,作出图线②如图乙所示.由交点坐标可得,$U_2=3.66\ \text{V}$,$I_2=319\ \text{mA}$,最大的功率为$P_2=U_2I_2\approx1.17\ \text{W}$.

● 解析

[**答案**]

(1)见解析图甲　(2)增大　增大　(3)0.39　1.17

[**感悟方法**]

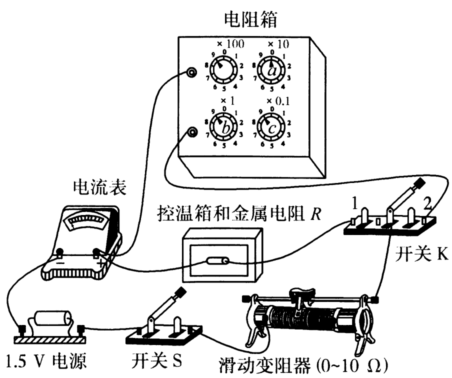
1. **扩大电压表量程**：电压表量程为 3 V，要求能够实现在 0～3.8 V 的范围内对小灯泡的电压进行测量，需要给电压表串联一个定值电阻扩大量程.

2. **图象与情景结合**：电源（或是等效电源）的伏安特性曲线与外接用电器的伏安特性曲线的交点表示这个电源与这个用电器直接相连接的一种状态，这个交点可以称之为“工作点”，要求在这个工作状态下用电器的功率，只要找到两条伏安特性曲线的交点即可.

实战演练

1. (2016·江苏卷)小明同学通过实验探究某一金属电阻的阻值 R 随温度 t 的变化关系. 已知该金属电阻在常温下的阻值约 10 Ω，R 随 t 的升高而增大. 实验电路如图所示，控温箱用以调节金属电阻的温度.

实验时闭合 S，先将开关 K 与 1 端闭合，调节金属电阻的温度，分别记下温度 t_1，t_2，…和电流表的相应示数 I_1，I_2，…. 然后将开关 K 与 2 端闭合，调节电阻箱使电流表的示数再次为 I_1，I_2，…，分别记下电阻箱相应的示数 R_1，R_2，….



(1)有以下两种电流表，实验电路中应选用________.

A. 量程 0～100 mA，内阻约 2 Ω

B. 量程 0～0.6 A，内阻可忽略

(2)实验过程中,要将电阻箱的阻值由 9.9 Ω 调节至10.0 Ω,需旋转图中电阻箱的旋钮"*a*""*b*""*c*",正确的操作顺序是________.

①将旋钮 *a* 由"0"旋转至"1"

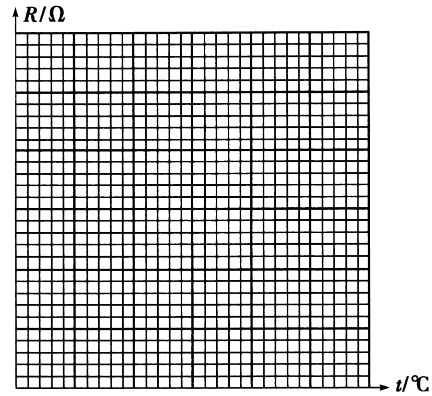
②将旋钮 *b* 由"9"旋转至"0"

③将旋钮 *c* 由"9"旋转至"0"

(3)实验记录的 *t* 和 *R* 的数据见下表:

温度 t(℃)	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0
阻值 R(Ω)	9.6	10.4	11.1	12.1	12.8

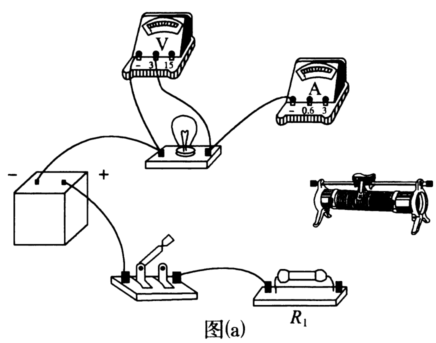
请根据表中数据,在方格纸上作出 R-t 图象.



由图线求得 R 随 t 的变化关系为 R = ________Ω。

2.(2013·江苏卷)为探究小灯泡的电功率 P 和电压 U 的关系,小明测量小灯泡的电压 U 和电流 I,利用 $P=UI$ 得到电功率. 实验所使用的小灯泡规格为"3.0 V 1.8 W",电源为 12 V 的电池,滑动变阻器的最大阻值为 10 Ω.

(1)准备使用的实物电路如图(a)所示. 请将滑动变阻器接入电路的正确位置.(用笔画线代替导线)

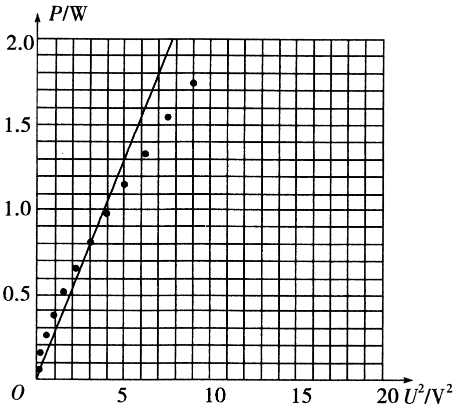


图(a)

(2)现有 10 Ω、20 Ω 和 50 Ω 的定值电阻,电路中的电阻 R_1 应选________Ω 的定值电阻.

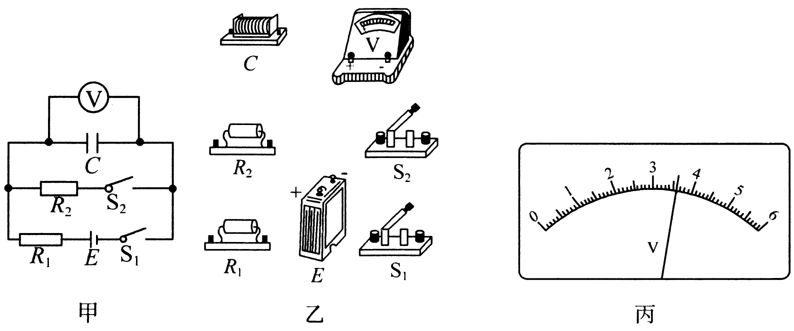
(3)测量结束后,应先断开开关,拆除________两端的导线,再拆除其他导线,最后整理好器材.

(4)小明处理数据后将 P、U^2 描点在坐标纸上,并作出了一条直线,如图(b)所示. 请指出图象中不恰当的地方.



图(b)

3.(2015·海南卷)某同学利用图甲所示电路测量电容器充电时两极板间的电压随时间的变化. 实验中使用的器材为:电池 E(内阻很小)、开关 S_1 和 S_2、电容器 C(约100 μF)、电阻 R_1(约 200 kΩ)、电阻 R_2(1 kΩ)、电压表 V(量程 6 V)、秒表、导线若干.

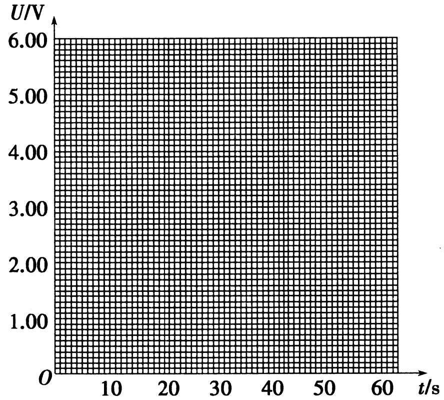


(1)按图甲所示的电路原理图将图乙中实物图连线.

(2)先闭合开关 S_2,再断开开关 S_2、闭合开关 S_1,同时按下秒表开始计时. 若某时刻电压表的示数如图丙所示,电压表的读数为________V(保留 2 位小数).

(3)该同学每隔 10 s 记录一次电压表的读数 U,记录的数据如下表所示. 在给出的坐标纸上绘出 U-t 图线,已知只有一个数据点误差较大,该数据点对应的表中的时间是________s.

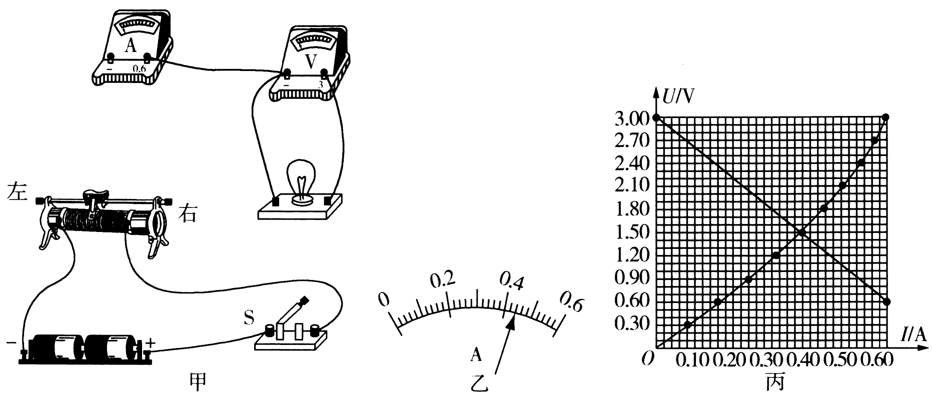
时间 t/s	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
电压 U/V	2.14	3.45	4.23	4.51	5.00	5.18



(4)电路中 C、R_2 和 S_2 构成的回路的作用是____________________。

4. (2015·福建卷)某学习小组探究一小电珠在不同电压下的电功率大小，实验器材如图甲所示，现已完成部分导线的连接.

(1)实验要求滑动变阻器的滑片从左到右移动过程中，电流表的示数从零开始逐渐增大，请按此要求用笔画线代替导线在图甲实物接线图中完成余下导线的连接；



甲　　乙　　丙

(2)某次测量，电流表指针偏转如图乙所示，则电流表的示数为________A；

(3)该小组描绘出的伏安特性曲线如图丙所示，根据图线判断，将________只相同的小电珠并联后，直接与电动势为 3 V、内阻为 1 Ω 的电源组成闭合回路，可使小电珠的总功率最大，其总功率的值约为________W(保留两位小数).

专题十三　测定电源的电动势和内阻

典例剖析

题型 1：伏安法测定电源的电动势和内阻

【例 1】(2014·北京卷)利用电流表和电压表测定一节干电池的电动势和内电阻. 要求尽量减小实验误差.

(1)应该选择的实验电路是图 1 中的________(选填“甲”或“乙”).

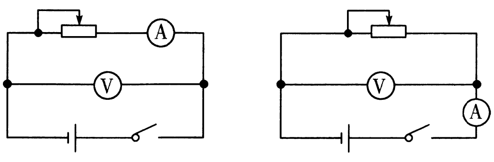


图 1

(2)现有电流表(0～0.6 A)、开关和导线若干,以及以下器材:

A. 电压表(0～15 V)

B. 电压表(0～3 V)

C. 滑动变阻器(0～50 Ω)

D. 滑动变阻器(0～500 Ω)

实验中电压表应选用________,滑动变阻器应选用________.(选填相应器材前的字母)

(3)某位同学记录的 6 组数据如下表所示,其中 5 组数据的对应点已经标在图 2 的坐标纸上,请标出余下一组数据的对应点,并画出 U-I 图线.

序号	1	2	3	4	5	6
电压 U/V	1.45	1.40	1.30	1.25	1.20	1.10
电流 I/A	0.060	0.120	0.240	0.260	0.360	0.480

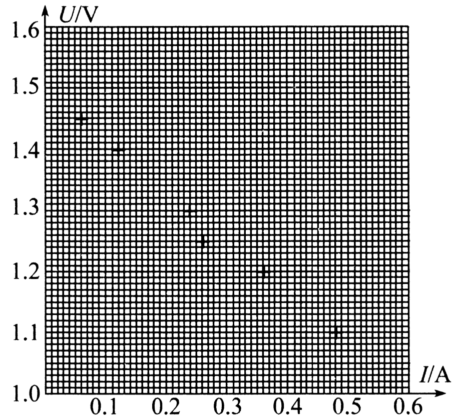


图 2

(4)根据(3)中所画图线可得出干电池的电动势 $E=$ ________ V,内电阻 $r=$ ________ Ω.

(5)实验中,随着滑动变阻器滑片的移动,电压表的示数 U 及干电池的输出功率 P 都会发生变化.图 3 的各示意图中正确反映 P-U 关系的是________.

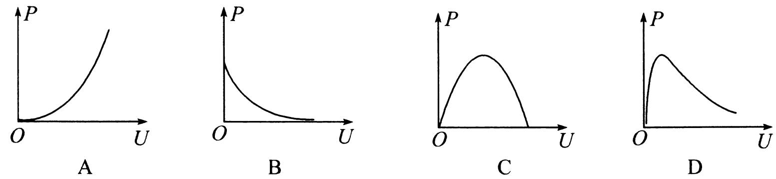


图3

● 解析

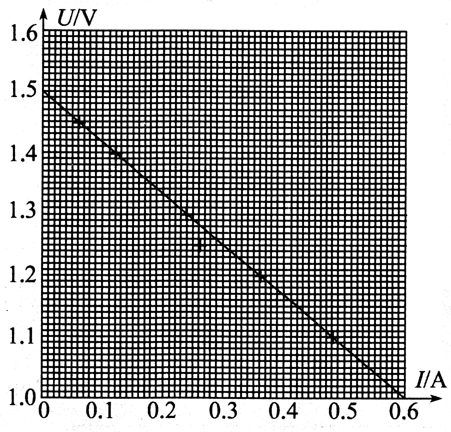
[**分析**]

(1)干电池内阻相对一般电流表内阻而言较小,为减小电流表分压带来的系统误差,应采用电流表“外接法”(相对电源,因为需要测量的是电池内阻),故应选甲.

(2)干电池电动势约为 1.5 V,电压表选 B 可减小读数误差.滑动变阻器应选 C,若选 D,则滑片滑动时引起电流表读数变化非常微小.

(3)图线应为直线,如图所示,作图时应使尽量多的点在线上,不在线上的点应均匀分布在线的两侧,误差较大的点舍去.

解析



(4)由 $U=E-Ir$ 可得图象上的截距 $E=1.50$ V,斜率的绝对值 $r\approx0.83\ \Omega$.

(5)输出功率 $P=UI=-\frac{1}{r}\left(U-\frac{E}{2}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$,应为开口向下的抛物线,C 正确.

［**答案**］

(1)甲　(2)B　C　(3)如解析图所示　(4)1.50(1.49～1.51)　0.83(0.81～0.85)　(5)C

［**感悟方法**］

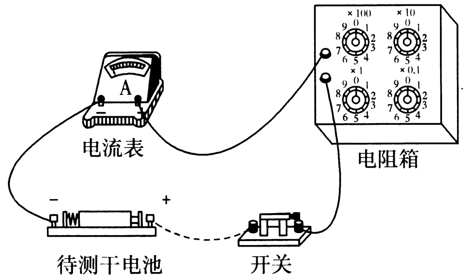
1. **选择测量电路**:当电源内阻较小时,选择电路甲;当电源内阻较大时,选择电路乙.

2. **数形结合方法**:描点连线要使尽量多的点在线上,不在线上的点应均匀分布在线的两侧,误差较大的点舍去;坐标的起点为(0,1.0 A)是为了图线分布合理;判断输出功率的图线,采用了以数助形的方法,即先根据原理,得出表达式,再与所给的图线"对照".

题型2:安阻法测定电源的电动势和内阻

【例2】(2018·江苏卷)一同学测量某干电池的电动势和内阻.

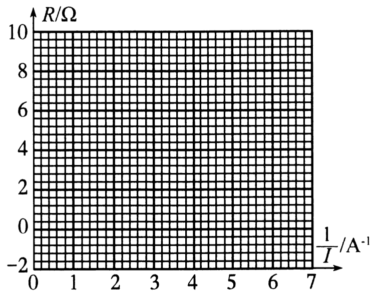
(1)如图甲所示是该同学正准备接入最后一根导线(图中虚线所示)时的实验电路.请指出图中在器材操作上存在的两个不妥之处①__________;②__________.



甲

(2)实验测得的电阻箱阻值 R 和电流表示数 I,以及计算的$\frac{1}{I}$数据见下表:

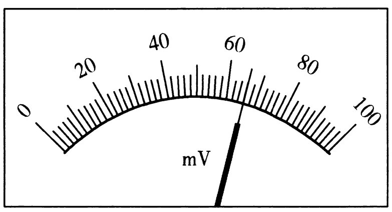
R/Ω	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
I/A	0.15	0.17	0.19	0.22	0.26
$\frac{1}{I}/\mathrm{A}^{-1}$	6.7	6.0	5.3	4.5	3.8



乙

根据表中数据,在方格纸上作出 $R-\frac{1}{I}$关系图象. 由图象可计算出该干电池的电动势为________V;内阻为________Ω.

(3)为了得到更准确的测量结果,在测出上述数据后,该同学将一只量程为 100 mV 的电压表并联在电流表的两端. 调节电阻箱,当电流表的示数为 0.33 A 时,电压表的指针位置如图丙所示,则该干电池的电动势应为________V;内阻应为________Ω.



丙

●解析

［分析］

(1)在连接电路时，开关必须是断开的；电阻箱的电阻应调为最大.

(2)根据闭合电路欧姆定律，$E=I(R+r)$，变形为 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$，所以电动势为 $R-\frac{1}{I}$ 图象的斜率，内阻 r 为 $R-\frac{1}{I}$ 图象在 R 轴上的的截距，根据图象可求出斜率和截距，从而求出 E 和 r，$E=1.4\ \mathrm{V}$，$r=1.2\ \Omega$.

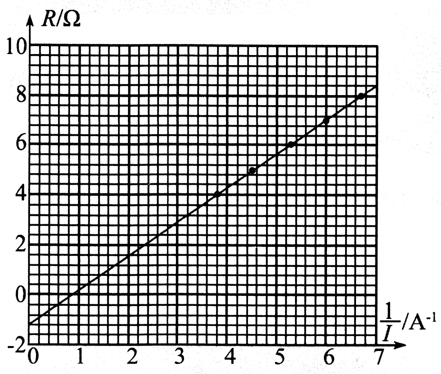
(3)电压表读数为 66 mV，根据已知条件，电流表内阻 $r_A=\frac{66\times10^{-3}}{0.33}\ \Omega=0.2\ \Omega$

因为在安阻法测电源电动势和内阻实验中，电动势 $E_{真}=E_{测}$，内阻 $r_{测}=r_{真}+r_A$，所以，第(3)问中的电动势与第(2)问相同，内阻比第(2)问少 $r_A=0.2\ \Omega$.

［答案］

(1)①开关未断开　②电阻箱阻值为零

(2)如图所示　1.4(1.30～1.44 都算对)　1.2(1.0～1.4 都算对)



(3)1.4(结果与(2)问第一个空格一致)　1.0(结果比(2)问第二个空格小 0.2)

［感悟方法］

1. **等效变换**：从伏安法到安阻法本质上没有发生变化. 由伏安法测电源电动势和内电阻的原理可知，实验电路中缺少电压表，根据 $U=IR$，不难发现，这里的电阻箱就扮演着电压表的角色，因为电阻箱的电阻可直接读出，通过电阻箱的电流可以由电流表测得.

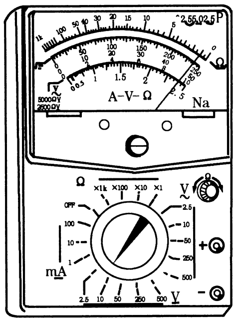
●解析

2. **化曲为直**：如果直接根据闭合电路欧姆定律，得到 $E=I(R+r)$，那么 R-I 图线是一条曲线，不利于数据处理，我们不妨对 $E=I(R+r)$ 进行“整形”，变形为 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$，这样得到的 R-$\frac{1}{I}$ 图线就是一条直线，电源的电动势就是 R - $\frac{1}{I}$ 图线的斜率.

题型3：伏阻法测定电源的电动势和内阻

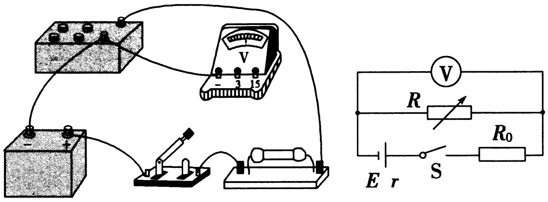
【例3】(2012·福建卷)某研究性学习小组欲测定一块电池的电动势 E.

(1)先直接用多用电表测定该电池电动势. 在操作无误的情况下，多用电表表盘示数如图1，其示数为________V.



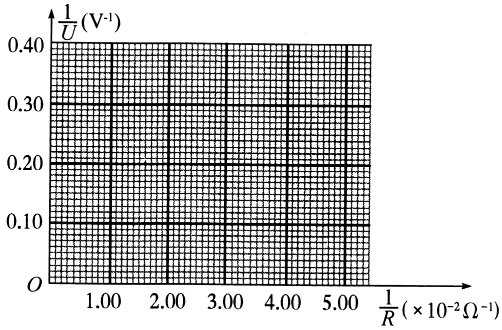
(2)然后，用电压表V、电阻箱 R、定值电阻 R_0、开关S、若干导线和该电池组成电路，测定该电池电动势.

①根据电路图，用笔画线代替导线，将实物图连接成完整电路.



②闭合开关S，调整电阻箱阻值 R，读出电压表V相应示数 U. 该学习小组测出大量数据，分析筛选出下表所示的 R、U 数据，并计算出相应的 $\frac{1}{R}$ 与 $\frac{1}{U}$ 的值. 请用表中数据在坐标纸上描点，并作出 $\frac{1}{U}$ - $\frac{1}{R}$ 图线.

$R(\Omega)$	166.7	71.4	50.0	33.3	25.0	20.0
$U/(\text{V})$	8.3	5.9	4.8	4.2	3.2	2.9
$\frac{1}{R}(\times 10^{-2}\Omega^{-1})$	0.60	1.40	2.00	3.00	4.00	5.00
$\frac{1}{U}(\text{V}^{-1})$	0.12	0.17	0.21	0.24	0.31	0.35



③从图线中可求得 $E=$________V.

●解析

［分析］

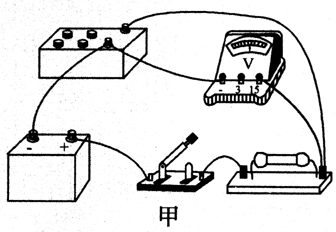
(1)多用电表使用的是10 V直流电压挡，表盘共有50格，每一格为0.2 V，指针指在第47格上，因此读数为0.2 V×47=9.4 V.

(2)电压直接接在电阻箱的两端，选用15 V的量程；由 $E=U+\frac{U}{R}(R_0+r)$ 可得，$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{R_0+r}{E}\cdot\frac{1}{R}$，因此 $\frac{1}{U}$-$\frac{1}{R}$ 图象是一条倾斜的直线，图象纵轴的截距为电动势的倒数，作出图象，找出截距可求得电动势 $E=10.0$ V(9.5~11.1 V内均正确).

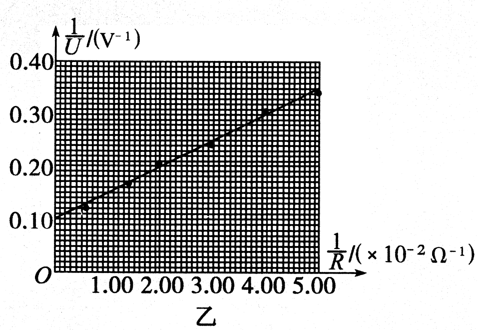
［答案］

(1)9.4　(2)①如图甲所示

②如图乙所示　③10(9.5~11.1均可)



甲



乙

●解析

[**感悟方法**]

1. **等效变换**：从伏安法到伏阻法本质上没有发生变化. 由伏安法测电源电动势和内电阻的原理知，实验电路中缺少电流表，根据 $I=\dfrac{U}{R}$，不难发现，这里的电阻箱就扮演着电流表的角色，因为电阻箱的电阻可直接读出，加在电阻箱两端的电压可以由电压表测得.

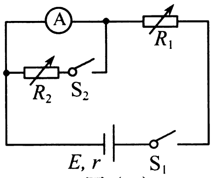
2. **化曲为直**：如果直接根据闭合电路欧姆定律，得到 $E=U+\dfrac{U}{R}\cdot r$，那么 U-R 图线是一条曲线，不利于数据处理，我们不妨对 $E=U+\dfrac{U}{R}\cdot r$ 进行"整形"，变形为 $\dfrac{1}{U}=\dfrac{1}{E}+\dfrac{r}{E}\cdot\dfrac{1}{R}$，这样得到的 $\dfrac{1}{U}$-$\dfrac{1}{R}$ 图线就是一条直线，电源的电动势就是 $\dfrac{1}{U}$-$\dfrac{1}{R}$ 图线截距的倒数.

题型4：伏安法测电阻与测 E、r 实验的组合

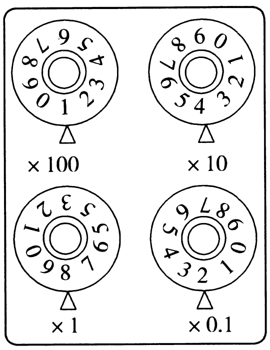
【例4】(2018·海南卷)某同学利用图(a)中的电路测量电流表 A 的内阻 R_A(约为5 Ω)和直流电源的电动势 E(约为 10 V). 图中 R_1 和 R_2 为电阻箱，S_1 和 S_2 为开关. 已知电流表的量程为 100 mA，直流电源的内阻为 r.

(1)断开 S_2，闭合 S_1，调节 R_1 的阻值，使 A 满偏；保持 R_1 的阻值不变，闭合 S_2，调节 R_2，当 R_2 的阻值为4.8 Ω 时 A 的示数为48.0 mA. 忽略 S_2 闭合后电路中总电阻的变化，经计算得 $R_A=$________Ω；(保留 2 位有效数字)

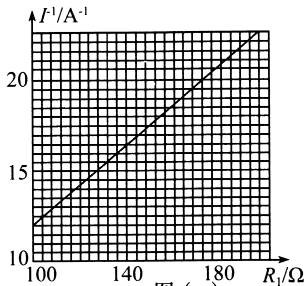
(2)保持 S_1 闭合，断开 S_2，多次改变 R_1 的阻值，并记录电流表的相应示数. 若某次 R_1 的示数如图(b)所示，则此次 R_1 的阻值为________Ω；



图(a)



图(b)



图(c)

(3)利用记录的 R_1 的阻值和相应的电流表示数 I，作出 $\frac{1}{I}$-R_1 图线，如图(c)所示. 用电池的电动势 E、内阻 r 和电流表内阻 R_A 表示 $\frac{1}{I}$ 随 R_1 变化的关系式为 $\frac{1}{I}=$ ________. 利用图(c)可求得 $E=$ ________ V.（保留 2 位有效数字）

● 解析

［**分析**］

(1)因为忽略 S_2 闭合后电路中总电阻的变化，总电流还是为 100 mA，表头与 R_2 并联，电流与电阻成反比分配，即：$\frac{R_A}{R_2}=\frac{100-48.0}{48.0}$，解得 $R_A=5.2\ \Omega$.

(2)电阻箱的读数 $R_1=148.2\ \Omega$.

(3)根据闭合电路欧姆定律有 $E=I(R_1+R_A+r)$，变形得 $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}\cdot R_1+\frac{R_A+r}{E}$.

从图(c)可求图线的斜率 $k=\frac{20.7-12}{180-100}=\frac{87}{800}$，则电源电动势 $E=\frac{1}{k}=\frac{800}{87}\approx$ 9.2 V.

［**答案**］

(1)5.2　(2)148.2　(3)$\frac{R_1}{E}+\frac{r+R_A}{E}$　9.2 (8.9～9.4 之间)

［**感悟方法**］

1. **比例法测电阻**：因为 R_2 比 R_1 小得多，所以可以忽略 S_2 闭合后电路中总电阻的变化，总电流还是可以认为是 100 mA，电流表与 R_2 并联，S_2 断开时，电流表测的是总电流，S_2 闭合后测的是通过电流表支路的电流，那么通过 R_2 的电流就是两次电流表读数之差，然后再根据电流与电阻成反比分配规律求出电流表 R_A 的值.
2. **安阻法测 E、r**：保持 S_1 闭合，断开 S_2 之后，电路就是安阻法测电源的电动势和内电阻的电路.

实战演练

1. (2015·四川卷)用实验测一电池的内阻 r 和一待测电阻的阻值 R_x. 已知电池的电动势约6 V,电池内阻和待测电阻阻值都为数十欧. 可选用的实验器材有:

电流表 A_1(量程0~30 mA);

电流表 A_2(量程0~100 mA);

电压表V(量程0~6 V);

滑动变阻器 R_1(阻值0~5 Ω);

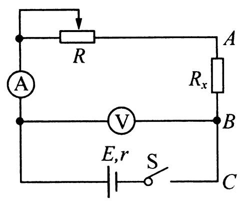
滑动变阻器 R_2(阻值0~300 Ω);

开关S一个,导线若干条.

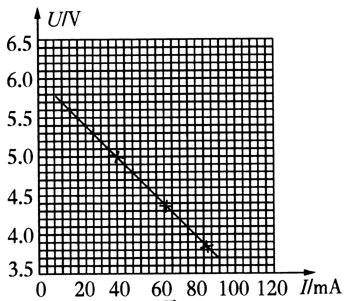
某同学的实验过程如下:

Ⅰ. 设计如图甲所示的电路图,正确连接电路.

Ⅱ. 将 R 的阻值调到最大,闭合开关,逐次调小 R 的阻值,测出多组 U 和 I 的值,并记录. 以 U 为纵轴,I 为横轴,得到如图乙所示的图线.



甲



乙

Ⅲ. 断开开关,将 R_x 改接在 B、C 之间,A 与 B 直接相连,其他部分保持不变. 重复Ⅱ的步骤,得到另一条 U-I 图线,图线与横轴 I 的交点坐标为(I_0,0),与纵轴 U 的交点坐标为(0,U_0).

回答下列问题:

(1)电流表应选用______,滑动变阻器应选用______.

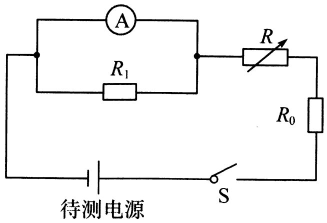
(2)由图乙的图线,得电源内阻 r = ________Ω.

(3)用 I_0、U_0 和 r 表示待测电阻的关系式 $R_x=$________,代入数值可得 R_x.

(4)若电表为理想电表,R_x 接在 B、C 之间与接在 A、B 之间,滑动变阻器滑片都从最大阻值位置调到某同一位置,两种情况相比,电流表示数变化范围________,电压表示数变化范围________.(均选填"相同"或"不同")

2.(2014·全国卷Ⅰ)利用如图(a)所示电路,可以测量电源的电动势和内阻,所用的实验器材有:

待测电源,电阻箱 R(最大阻值为 999.9 Ω),电阻 R_0(阻值为 3.0 Ω),电阻 R_1(阻值为 3.0 Ω),电流表 A(量程为 200 mA,内阻为 $R_A=6.0\ \Omega$),开关 S.



图(a)

实验步骤如下:

①将电阻箱阻值调到最大,闭合开关 S;

②多次调节电阻箱,记下电流表的示数 I 和电阻箱相应的阻值 R;

③以 $\frac{1}{I}$ 为纵坐标,R 为横坐标,作 $\frac{1}{I}$ -R 图线(用直线拟合);

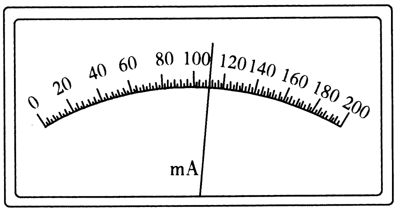
④求出直线的斜率 k 和在纵轴上的截距 b.

回答下列问题:

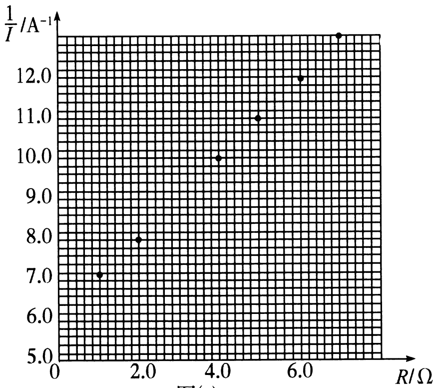
(1)分别用 E 和 r 表示电源的电动势和内阻,则 $\frac{1}{I}$ 与 R 的关系式为________________.

(2)实验得到的部分数据如下表所示,其中电阻 $R=3.0\ \Omega$ 时电流表的示数如图(b)所示,读出数据,完成下表. 答:①________;②________.

R/Ω	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
I/A	0.143	0.125	①	0.100	0.091	0.084	0.077
$\frac{1}{I}/\mathrm{A}^{-1}$	6.99	8.00	②	10.0	11.0	11.9	13.0



图(b)



图(c)

(3)在图(c)的坐标纸上将所缺数据点补充完整并作图,根据图线求得斜率 $k=$________ $A^{-1}\cdot\Omega^{-1}$,截距 $b=$________ A^{-1}.

(4)根据图线求得电源电动势 $E=$________ V,内阻 $r=$________ Ω.

3.(2011·四川卷)为测量一电源的电动势及内阻.

(1)在下列三个电压表中选一个改装成量程为 9 V 的电压表

A. 量程为 1 V、内阻大约为 1 kΩ 的电压表 V_1

B. 量程为 2 V、内阻大约为 2 kΩ 的电压表 V_2

C. 量程为 3 V、内阻大约为 3 kΩ 的电压表 V_3

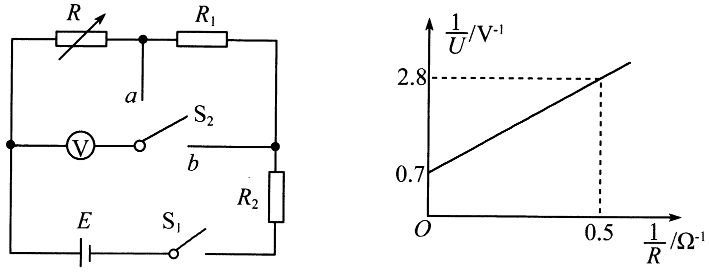
选择电压表________串联________kΩ 的电阻可以改装成量程为 9 V 的电压表.

(2)利用一个电阻箱、一只开关、若干导线和改装好的电压表(此表用符号 V_1、V_2、V_3 与一个电阻串联来表示,且可视为理想电压表),在虚线框内画出测量电源电动势及内阻的实验原理电路图.



(3)根据以上实验原理电路图进行实验,读出电压表示数为 1.50 V 时,电阻箱的阻值为 15.0 Ω;电压表示数为 2.00 V 时,电阻箱的阻值为 40.0 Ω,则电源的电动势 $E=$ ________V、内阻 $r=$ ________Ω.

4. (2007 · 四川卷)甲同学设计了如图甲所示的电路测电源电动势 E 及电阻 R_1 和 R_2 阻值. 实验器材有:待测电源 E(不计内阻),待测电阻 R_1,待测电阻 R_2,电压表 V(量程为 1.5 V,内阻很大),电阻箱 R(0 ~ 99.99 Ω),单刀单掷开关 S_1,单刀双掷开关 S_2,导线若干.



甲　　乙

(1)先测电阻 R_1 的阻值. 请将甲同学的操作补充完整:闭合 S_1,将 S_2 切换到 a,调节电阻箱,读出其示数 r 和对应的电压表示数 U_1,保持电阻箱示数不变,____________,读出电压表的示数 U_2. 则电阻 R_1 的表达式为 $R_1=$ ______.

(2)甲同学已经测得电阻 $R_1=4.8\ \Omega$,继续测电源电动势 E 和电阻 R_2 的阻值. 该同学的做法是:闭合 S_1,将 S_2 切换到 a,多次调节电阻箱,读出多组电阻箱示数 R 和对应的电压表示数 U,由测得的数据,绘出了如图乙所示的$\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$图线,则电源电动势 $E=$ ________V,电阻 $R_2=$ ________Ω.

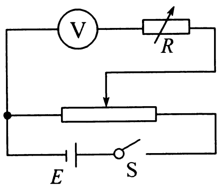
(3)利用甲同学设计的电路和测得的电阻 R_1,乙同学测电源电动势 E 和电阻 R_2 的阻值的做法是:闭合 S_1,将 S_2 切换到 b,多次调节电阻箱,读出多组电阻箱示数 R 和对应的电压表示数 U,由测得的数据,绘出于相应的$\frac{1}{U}-\frac{1}{R+R_1}$图线,根据图线得到电源电动势 E 和电阻 R_2. 这种做法与甲同学的做法比较,由于电压表测得的数据范围________(选填“较大”“较小”或“相同”),所以________同学的做法更恰当些.

专题十四　电压表与电流表的改装

典例剖析

题型1：半偏法测量电表内阻

【例1】(2016·全国卷Ⅱ)某同学利用图(a)所示电路测量量程为2.5 V的电压表V的内阻(内阻为数千欧姆)，可供选择的器材有：电阻箱R(最大阻值99 999.9 Ω)，滑动变阻器R_1(最大阻值50 Ω)，滑动变阻器R_2(最大阻值5 kΩ)，直流电源E(电动势3 V)，开关1个，导线若干.



图(a)

实验步骤如下：

①按电路原理图(a)连接线路；

②将电阻箱阻值调节为0，将滑动变阻器的滑片移到与图(a)中最左端所对应的位置，闭合开关S；

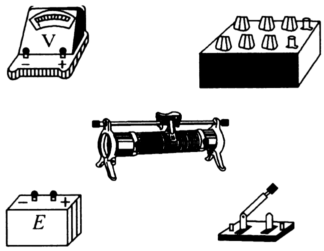
③调节滑动变阻器，使电压表满偏；

④保持滑动变阻器滑片的位置不变，调节电阻箱阻值，使电压表的示数为2.00 V，记下电阻箱的阻值.

回答下列问题：

(1)实验中选择滑动变阻器________(填"R_1"或"R_2").

(2)根据图(a)所示电路将图(b)中实物图连线.



图(b)

(3)实验步骤④中记录的电阻箱阻值为 630.0 Ω,若认为调节电阻箱时滑动变阻器上的分压不变. 计算可得电压表的内阻为________Ω(结果保留到个位).

(4)如果此电压表是由一个表头和电阻串联构成的,可推断该表头的满刻度电流为________(填正确答案标号).

A. 100 μA　　B. 250 μA

C. 500 μA　　D. 1 mA

解析

[分析]

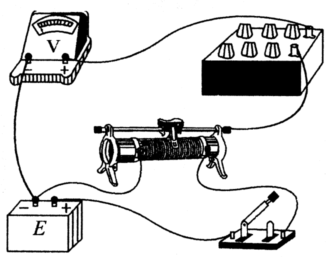
(1)此实验要求电压表所在支路的总电压应该尽量不变化,故滑动变阻器的最大阻值应选比较小的,即选 R_1.

(3)近似认为电压表所在支路的总电压不变,且流过电压表与电阻箱的电流相等,由串联分压特点知$\frac{2}{R_V}=\frac{2.5-2}{R}$,则 $R_V=4R=2\ 520\ \Omega$.

(4)因电压表是由一个表头和电阻串联构成,表头允许的最大电流不会因此改变,则由欧姆定律可知,$I_{满}=\frac{U_{满}}{R_V}=\frac{2.5}{2\ 520}\ \text{A}\approx 1\ \text{mA}$.

[答案]

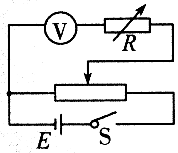
(1)R_1　(2)连线如图所示　(3)2 520　(4)D

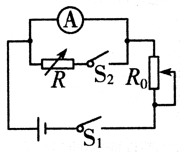


●解析

［**感悟方法**］

1. **半偏法的本质**：就是比较法测电阻，半偏法测电压表内阻根据串联电路的电压与电阻成正比，半偏法测电流表内阻根据并联电路的电流与电阻成反比.

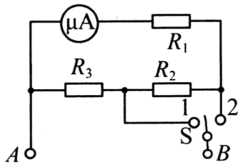




2. **半偏法中的近似法**：在半偏法测电压表内阻中，电压表既要测量本身电压，又要测量与之相串联电阻的电压，只有保持电压表所在支路的总电压应该尽量不变化，这就要求滑动变阻器应选最大阻值较小的. 同理，在半偏法测电流表内阻中，电流表既要测量本身电流，又要测量与之相并联电阻的电流，只有保持电路的总电流尽量不变化，这就要求滑动变阻器应选最大阻值较大的.

题型2：电表的改装

【例2】(2013·海南卷)某同学将量程为200 μA、内阻为500 Ω的表头μA改装成量程为1 mA和10 mA的双量程电流表，设计电路如图(a)所示. 定值电阻 R_1 = 500 Ω，R_2 和 R_3 的值待定，S为单刀双掷开关，A、B 为接线柱. 回答下列问题：



图(a)

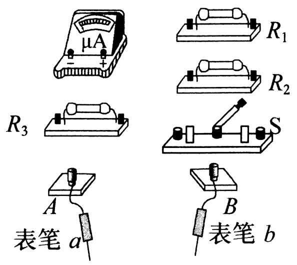
(1)按图(a)在图(b)中将实物连线；

(2)表笔 a 的颜色为________色(填“红”或“黑”)

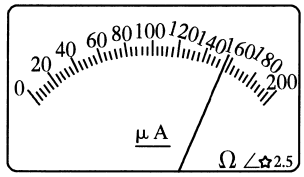
(3)将开关S置于“1”挡时，量程为________mA；

(4)定值电阻的阻值 R_2 = ________Ω，R_3 = ________Ω.(结果取3位有效数字)

(5)利用改装的电流表进行某次测量时,S 置于“2”挡,表头指示如图(c)所示,则所测量电流的值为____mA.



图(b)



图(c)

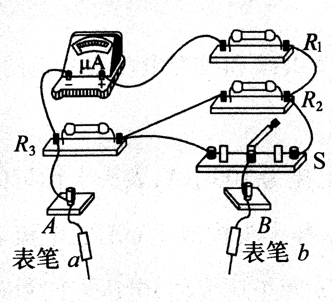
● 解析

[**分析**]

电学仪器遵循“红入黑出”,A 接线处接的电流表负极,故电流从该处流出,外接黑表笔,S 置于 1 挡时,上支路总电阻较大,分流电阻阻值较小,分流效果好,量程更大,故为 10 mA 挡,S 置于 2 挡时,图中上支路总电阻 $R=1\ 000\ \Omega$,满偏电压 $U_1=0.2$ V,下支路 $R_3+R_2=\dfrac{U_1}{I_1-I_G}=\dfrac{0.2}{8\times10^{-4}}\ \Omega=250\ \Omega$,当接 1 挡时,$R_3=\dfrac{U_2}{I_2-I_G}=\dfrac{2\times10^{-4}(1\ 000+R_2)}{9.8\times10^{-3}}$,联立可得 $R_2=225\ \Omega$,$R_3=25.0\ \Omega$,图中电流表读数为 156 μA,根据电阻关系可知回路的总电流 $I=5\times156\ \mu A=780\ \mu A=0.780$ mA.

[**答案**]

(1)连线如图所示

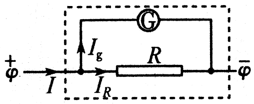


(2)黑　(3)10　(4)225　25.0　(5)0.780

●解析

［**感悟方法**］

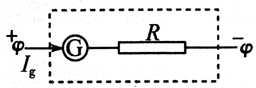
1. **电流表的改装**：电流表是用来测量电路中的电流，电流表是由表头并联一个分流电阻改装而成. 如图所示为电流表的内部电路图，设电流表量程为 I，扩大量程的倍数 $n=\frac{I}{I_g}$，由并联电路的特点得：



$$I_g\cdot R_g=(I-I_g)R\quad R=\frac{I_gR_g}{I-I_g}=\frac{R_g}{n-1}$$

内阻 $r_A=\frac{RR_g}{R+R_g}=\frac{R_g}{n}$，由两式可知，电流表量程越大，$n$ 越大，其内阻越小.

2. **电压表的改装**：电压表是用来测量电路中两点之间的电压. 电压表是由表头串联一个分压电阻改装而成，如图所示是电压表内部电路图. 设电压表的量程为 U，扩大量程的倍数为 $n=\frac{U}{U_g}$，由串联电路的特点得：



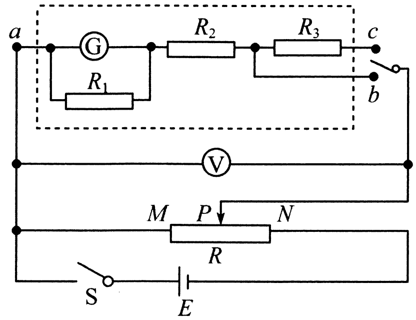
$$\frac{U_g}{R_g}=\frac{U-U_g}{R},R=\frac{U-U_g}{U_g}R_g=(n-1)R_g$$

电压表内阻 $r_V=R+R_g=nR_g$，由两式可知，电压表量程越大，n 越大，其内阻也越大.

题型3：改装电表的校准

【例3】(2016·海南卷)某同学改装和校准电压表的电路图如图所示，图中虚线框内是电压表的改装电路.

(1)已知表头 G 满偏电流为 100 μA，表头上标记的内阻值为 900 Ω. R_1、R_2 和 R_3 是定值电阻. 利用 R_1 和表头构成 1 mA 的电流表，然后再将其改装为两个量程的电压表. 若使用 a、b 两个接线柱，电压表的量程为 1 V；若使用 a、c 两个接线柱，电压表的量程为 3 V. 则根据题给条件，定值电阻的阻值应选 R_1 = ________Ω，R_2 = ________Ω，R_3 = ________Ω.



(2)用量程为 3 V、内阻为 2 500 Ω 的标准电压表Ⓥ对改装表 3 V 挡的不同刻度进行校准. 所用电池的电动势 E 为 5 V；滑动变阻器 R 有两种规格，最大阻值分别为 50 Ω 和 5 kΩ. 为方便实验中调节电压，图中 R 应选用最大阻值为________Ω 的滑动变阻器.

(3)校准时，在闭合开关 S 前，滑动变阻器的滑动端 P 应靠近________（填“M”或“N”）端.

(4)若由于表头 G 上标记的内阻值不准，造成改装后电压表的读数比标准电压表的读数偏小，则表头 G 内阻的真实值________（填“大于”或“小于”）900 Ω.

●解析

［分析］

(1)当流过改装后的电流表的电流为 1 mA 时，流过表头的电流为 100 μA，根据并联电路电流与电阻成反比，可得 R_1 为 100 Ω. 当 a、b 间电压为 1 V 时，电流为 1 mA，a、b 间总电阻为1 000 Ω，改装后的电流表内阻为 90 Ω，所以 R_2 =910 Ω. 当 a、c 间电压为 3 V 时，电流为 1 mA，a、c 间总电阻为 3 000 Ω，所以 R_3 = 2 000 Ω.

(2)分压电路中，滑动变阻器在安全的情况下，最大阻值越小操作越方便.

(3)闭合开关前，应保证被检验电路安全，所以滑动变阻器的滑动端 P 应在 M 端.

(4)改装后电压表读数偏小，说明改装后的电压表内阻偏大，故表头内阻偏大.

［答案］

(1)100　910　2 000　(2)50　(3)M　(4)大于

● 解析

［**感悟方法**］

校准电路的设计要考虑两点：

1. **改装电表与标准电表的连接**：如果是电流表的校准，需要串联；如果是电压表的校准，需要并联.
2. **控制电路的选择**：由于一般都需要全面校准，电压或是电流要从零开始变化，所以应该是分压式连接.

实战演练

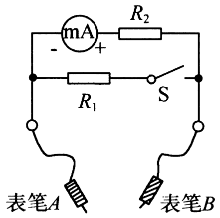
1. (2013·全国卷Ⅱ)某同学用量程为 1 mA、内阻为 120 Ω 的表头按图(a)所示电路改装成量程分别为 1 V 和 1 A 的多用电表. 图中 R_1 和 R_2 为定值电阻，S 为开关. 回答下列问题：

(1)根据图(a)所示的电路，在图(b)所示的实物图上连线.

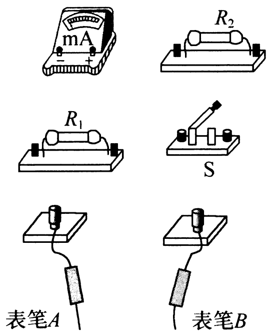
(2)开关 S 闭合时，多用电表用于测量________(填“电流”“电压”或“电阻”)；开关 S 断开时，多用电表用于测量________(填“电流”“电压”或“电阻”).

(3)表笔 A 应为________色(填“红”或“黑”).

(4)定值电阻的阻值 R_1 = ________Ω，R_2 = ________Ω.(结果取 3 位有效数字)



图(a)



图(b)

2.（2010·北京卷）(1)甲同学要把一个量程为200 μA的直流电流计Ⓖ，改装成量度范围是0～4 V的直流电压表.

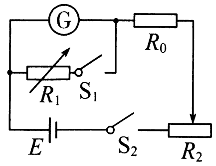


图 1

①她按图1所示电路、用半偏法测定电流计Ⓖ的内电阻 r_g，其中电阻 R_0 约为1 kΩ. 为使 r_g 的测量值尽量准确，在以下器材中，电源 E 应选用________，电阻器 R_1 应选用________，电阻器 R_2 应选用________（选填器材前的字母）

A. 电源（电动势1.5 V）　　B. 电源（电动势6 V）

C. 电阻箱（0～999.9 Ω）　　D. 滑动变阻器（0～500 Ω）

E. 电位器（一种可变电阻，与滑动变阻器相当）（0～5.1 kΩ）

F. 电位器（0～51 kΩ）

②该同学在开关断开情况下，检查电路连接无误后，将 R_2 的阻值调至最大. 后续的实验操作步骤依次是______，______，______，______，最后记录 R_1 的阻值并整理好器材.（请按合理的实验顺序，选填下列步骤前的字母）

A. 闭合 S_1

B. 闭合 S_2

C. 调节 R_2 的阻值，使电流计指针偏转到满刻度

D. 调节 R_2 的阻值，使电流计指针偏转到满刻度的一半

F. 调节 R_1 的阻值，使电流计指针偏转到满刻度的一半

F. 调节 R_1 的阻值，使电流计指针偏转到满刻度

③如果所得的 R_1 的阻值为300.0 Ω，则图1中被测电流计Ⓖ的内阻 r_g 的测量值为______Ω，该测量值______实际值（选填“略大于”“略小于”或“等于”）.

④给电流计Ⓖ______联（选填“串”或“并”）一个阻值为______kΩ的电阻，就可以将该电流计Ⓖ改装为量程4 V的电压表.

(2)乙同学要将另一个电流计Ⓖ改装成直流电压表,但他仅借到一块标准电压表$Ⓥ_0$、一个电池组 E、一个滑动变阻器 R'和几个待用的阻值准确的定值电阻.

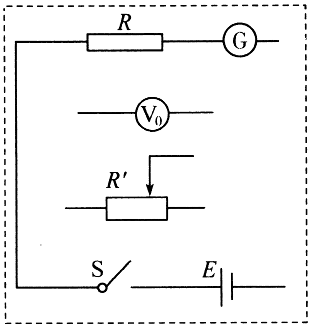


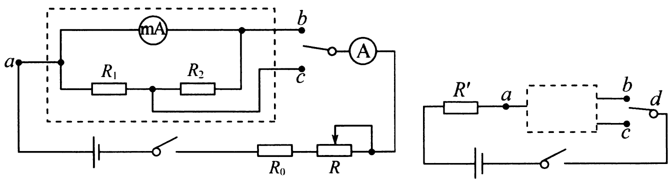
图2

①该同学从上述具体条件出发,先将待改装的表Ⓖ直接与一个定值电阻 R 相连接,组成一个电压表;然后用标准电压表$Ⓥ_0$校准. 请你画完图2方框中的校准电路图.

②实验中,当定值电阻 R 选用 17.0 kΩ 时,调整滑动变阻器 R'的阻值,电压表$Ⓥ_0$的示数是 4.0 V 时,表Ⓖ的指针恰好指到满量程的五分之二;当 R 选用 7.0 kΩ 时,调整 R'的阻值,电压表$Ⓥ_0$的示数是 2.0 V 时,表 G 的指针又指到满量程的五分之二.

由此可以判定,表Ⓖ的内阻 r_g 是________kΩ,满偏电流 I_g 是________mA. 若要将表Ⓖ改装为量程是 15 V 的电压表,应配备一个________kΩ 的电阻.

3.(2015·**全国卷Ⅰ**)图甲为某同学改装和校准毫安表的电路图,其中虚线框内是毫安表的改装电路.



甲　　　　乙

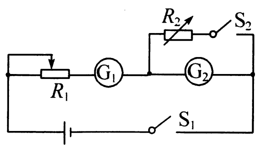
(1)已知毫安表表头的内阻为 100 Ω,满偏电流为 1 mA;R_1 和 R_2 为阻值固定的电阻. 若使用 a 和 b 两个接线柱,电表量程为 3 mA;若使用 a 和 c 两个接线柱,电表量程为 10 mA. 由题给条件和数据,可以求出 R_1 = ________Ω,R_2 = ________Ω.

(2)现用一量程为 3 mA、内阻为 150 Ω 的标准电流表对改装电表的 3 mA 挡进行校准,校准时需选取的刻度为 0.5 mA、1.0 mA、1.5 mA、2.0 mA、2.5 mA、3.0 mA. 电池的电

动势为 1.5 V,内阻忽略不计;定值电阻 R_0 有两种规格,阻值分别为 300 Ω 和1 000 Ω;滑动变阻器 R 有两种规格,最大阻值分别为 750 Ω 和 3 000 Ω. 则 R_0 应选用阻值为________Ω 的电阻,R 应选用最大阻值为________Ω 的滑动变阻器.

(3)若电阻 R_1 和 R_2 中有一个因损坏而阻值变为无穷大,利用图乙的电路可以判断出损坏的电阻. 图乙中的 R'为保护电阻,虚线框内未画出的电路即为图甲虚线框内的电路. 则图中的 d 点应和接线柱________(填“b”或“c”)相连. 判断依据是:____.

4. (2012 · **天津卷**)某同学在进行扩大电流表量程的实验时,需要知道电流表的满偏电流和内阻. 他设计了一个用标准电流表G_1来校对待测电流表G_2的满偏电流和测定G_2内阻的电路,如图所示. 已知G_1的量程略大于G_2的量程,图中 R_1 为滑动变阻器,R_2 为电阻箱. 该同学顺利完成了这个实验.



(1)实验过程包含以下步骤,其合理的顺序依次为________(填步骤的字母代号);

A. 合上开关 S_2

B. 分别将 R_1 和 R_2 的阻值调至最大

C. 记下 R_2 的最终读数

D. 反复调节 R_1 和 R_2 的阻值,使G_1的示数仍为 I_1,使G_2的指针偏转到满刻度的一半,此时 R_2 的最终示数为 r

E. 合上开关 S_1

F. 调节 R_1 使G_2的指针偏转到满刻度,此时G_1的示数为 I_1,记下此时G_1的示数

(2)仅从实验设计原理上看,用上述方法得到的G_2内阻的测量值与真实值相比________(填“偏大”“偏小”或“相等”);

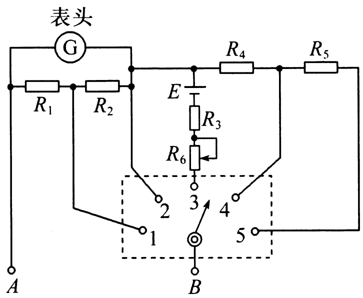
(3)若要将G_2的量程扩大为 I,并结合前述实验过程中测量的结果,写出需在G_2上并联的分流电阻 R_S 的表达式,R_S =________.

专题十五　练习使用多用电表

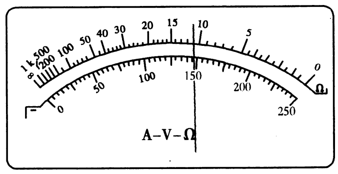
典例剖析

题型 1：用多用电表测电压、电流与电阻

【例 1】(2017·全国卷Ⅲ)图(a)为某同学组装完成的简易多用电表的电路图. 图中 E 是电池；R_1、R_2、R_3、R_4 和 R_5 是固定电阻，R_6 是可变电阻；表头 G 的满偏电流为 250 μA，内阻为 480 Ω. 虚线方框内为换挡开关，A 端和 B 端分别与两表笔相连. 该多用电表有 5 个挡位，5 个挡位为：直流电压 1 V 挡和 5 V 挡，直流电流 1 mA 挡和 2.5 mA 挡，欧姆 ×100 Ω 挡.



图(a)



图(b)

(1)图(a)中的 A 端与________(填“红”或“黑”)色表笔相连接.

(2)关于 R_6 的使用，下列说法正确的是________(填正确答案标号).

A. 在使用多用电表之前，调整 R_6 使电表指针指在表盘左端电流“0”位置

B. 使用欧姆挡时，先将两表笔短接，调整 R_6 使电表指针指在表盘右端电阻“0”位置

C. 使用电流挡时，调整 R_6 使电表指针尽可能指在表盘右端电流最大位置

(3)根据题给条件可得 $R_1+R_2=$____________Ω，$R_4=$____________Ω.

(4)某次测量时该多用电表指针位置如图(b)所示. 若此时 B 端是与“1”相连的，则多用电表读数为________；若此时 B 端是与“3”相连的，则读数为________；若此时 B 端是与“5”相连的，则读数为________.(结果均保留 3 位有效数字)

●解析

[分析]

(1)当 B 端与“3”连接时，内部电源与外部电路形成闭合回路，电流从 A 端流出，故 A 端与黑色表笔相连接.

(2)在使用多用电表之前，调整表头螺丝使电表指针指在表盘左端电流“0”位置，选项 A 错误；使用欧姆挡时，先将两表笔短接，调整 R_6 使电表指针指在表盘右端电阻“0”位置，选项 B 正确；使用电流挡时，电阻 R_6 不在闭合电路中，调节无效，选项 C 错误.

(3)根据题给条件可知，当 B 端与“2”连接时，表头与 R_1、R_2 组成的串联电路并联，此时为量程 1 mA 的电流挡，由并联电路两支路电流与电阻成反比知，$\frac{R_g}{R_1+R_2}=\frac{1-0.25}{0.25}=\frac{3}{1}$，解得 $R_1+R_2=160\ \Omega$.

当 B 端与“4”连接时，表头与 R_1、R_2 组成的串联电路并联后再与 R_4 串联，此时为量程 1 V 的电压挡，表头与 R_1、R_2 组成的串联电路并联后的总电阻为 120 Ω，两端电压为 0.12 V，由串联电路中电压与电阻成正比知：R_4 两端电压为 0.88 V，则 R_4 电阻为 880 Ω.

(4)若此时 B 端是与“1”连接的，多用电表作为直流电流表使用，量程为 2.5 mA，读数为 1.47 mA.

若此时 B 端是与“3”连接的，多用电表作为欧姆表使用，读数为 $11\times100\ \Omega=1.10\ \text{k}\Omega$.

若此时 B 端是与“5”连接的，多用电表作为直流电压表使用，量程为 5 V，读数为 2.95 V.

[答案]

(1)黑　(2)B　(3)160　880　(4)1.47 mA　1.10 kΩ　2.95 V

●解析

[**感悟方法**]

1. **测电阻**：用多用电表的欧姆挡测电阻可以归结为八个字：隔离、选挡、调零、测量. 隔离是指要将被测的电阻从电路中隔离出来；选挡是指测量电阻前要先选择合适的倍率，特别要记得在每次测量不同的电阻时都要重新选倍率. 调零是指在选好倍率后要将两表笔短接调节调零旋纽，使指针指在电阻零刻度处；测量是将待测电阻接入红、黑表笔之间，读出电阻值.
2. **测电压电流**：测电压、电流的方法与一般的电压表和电流表相同，选好量程再测量. 要注意的是要将红表笔接在电势高的一端，黑表笔接在电势低的一端.

题型 2：欧姆表内部电源电动势的测量

【例 2】(2011·大纲全国卷)使用多用电表测量电阻时，多用电表内部的电路可以等效为一个直流电源(一般为电池)、一个电阻和一表头相串联，两个表笔分别位于此串联电路的两端. 现需要测量多用电表内电池的电动势，给定的器材有：待测多用电表，量程为 60 mA 的电流表，电阻箱，导线若干. 实验时，将多用电表调至 ×1 Ω 挡，调好零点；电阻箱置于适当数值. 完成下列填空：

(1)仪器连线如图 1 所示(a 和 b 是多用电表的两个表笔). 若两电表均正常工作，则表笔 a 为________(填"红"或"黑")色；

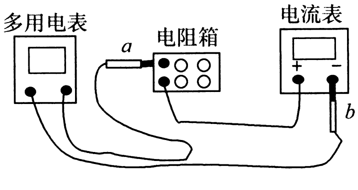
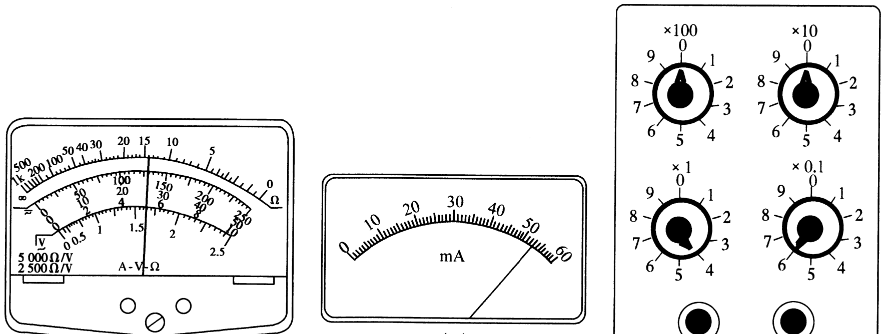


图 1

(2)若适当调节电阻箱后，图 1 中多用电表、电流表与电阻箱的示数分别如图 2(a)、(b)、(c)所示，则多用电表的读数为________Ω，电流表的读数为________mA，电阻箱的读数为________Ω；



(a) (b) (c)

图2

(3)将图 1 中多用电表的两表笔短接,此时流过多用电表的电流为________mA;(保留3 位有效数字)

(4)计算得到多用电表内电池的电动势为________V.(保留 3 位有效数字)

•解析

[**分析**]

(1)对多用电表来说,电流从红表笔进入多用电表,从黑表笔流出,由于设计电路图中 a 表笔接在电流表的正极,故电流经过多用电表从 a 表笔流出,故 a 表笔为多用电表的黑表笔.

(2)欧姆表读数为 $R=14.0\ \Omega$;电流表读数为 $I=50\ \text{mA}+\dfrac{10\ \text{mA}}{10}\times3.0=53.0\ \text{mA}$;电阻箱读数为 $4\times1\ \Omega+6\times0.1\ \Omega=4.6\ \Omega$.

(3)多用电表接外电路时,考虑到多用电表表头的电流刻度是均匀的,其表头偏转的格数与表盘总格数之比为 26∶50,而多用电表接外电路时,外电路电流表示数为 $I=53.0\ \text{mA}$,设表笔短接时通过多用电表的电流为 I_0,则 $\dfrac{26}{50}=\dfrac{I}{I_0}$,解得 $I_0\approx102\ \text{mA}$.

(4)设多用电表内阻为 r,已知外电路电阻为 $R=14\ \Omega$,多用电表接外电路时:$E=I(r+R)$,多用电表两表笔短接时 $E=I_0r$,联立解得多用电表内的电池电动势 $E\approx1.54\ \text{V}$.

●解析

［**答案**］

(1)黑　(2)14.0　53.0　4.6　(3)102　(4)1.54

［**感悟方法**］

1. **电流的流向：**不论测电压还是测电流或是测电阻，电流总是从红表笔进入多用电表，从黑表笔流出多用电表，但要注意的是，测电流和电压时，红表笔的电势较高，测电阻时黑表笔处电势较高.

2. **类比迁移法：**要测欧姆表内电源的电动势，我们可以采用等效类比法，将欧姆表整个看做一个“电源”，欧姆表内的电池电动势就等于这个“电源”的电动势，欧姆表的内阻就相当于这个“电源”的内阻. 这样一处理，本题就相当于是安阻法测电源的电动势和内电阻，问题就容易求解.

题型3：用多用电表检测电路的故障

【例3】(2014·重庆卷)某照明电路出现故障，其电路如图1所示，该电路用标称值12 V的蓄电池为电源，导线及其接触完好. 维修人员使用已调好的多用表直流50 V挡检测故障. 他将黑表笔接在c点，用红表笔分别探测电路的a、b点.

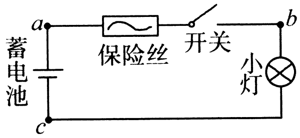


图1

(1)断开开关，红表笔接a点时多用表指示如图2所示，读数为________V，说明________正常(选填“蓄电池”“保险丝”“开关”或“小灯”).

(2)红表笔接b点，断开开关时，表针不偏转，闭合开关后，多用表指示仍然和图2相同，可判定发生故障的器件是________(选填“蓄电池”“保险丝”“开关”或“小灯”).

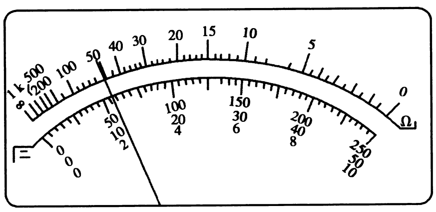


图2

●解析

[分析]

(1)因用直流 50 V 挡检测,故满偏时电压为 50 V,刻度均匀,在题图 2 所示位置时,读数为 11.5(11.2~11.8 之间均可)V,说明蓄电池正常.

(2)红表笔接 b 点,断开开关,指针不偏转,闭合开关后多用电表读数与原来相同,说明保险丝、开关均正常,发生故障的器件只能为小灯.

[答案]

(1)11.5(11.2~11.8 均可) 蓄电池 (2)小灯

[感悟方法]

检测"断路"故障的一般思路:

(1)一般不用欧姆表来判断,因为用多用电表欧姆挡测电阻时必须将其从电路中断开. 当然,如果能事先确保电路与电源断开,也可以选用欧姆表来检测.

(2)最佳方案是用电压表来判断,接通电路,然后用电压表逐个并接在各元件两端,如果发现某元件两端的电压接近电源电动势,那么说明这个元件断路.

(3)用电流表来判断,接通电路,然后用电流表逐个并接在各元件两端,如果发现某电流表并接在某元件两端时电流表有读数,那么说明这个元件断路.

(4)有时也可以用导线来判断,如果电路中有其他电表或是小灯泡之类的,也可以用导线逐个并接在各元件两端,如果发现电表有读数,或是小灯泡会发光,那么说明这个元件断路.

题型 4：用多用电表探测黑箱内部结构

【例 4】(2012·江苏卷)如图 1 所示的黑箱中有三只完全相同的电学元件,小明使用多用电表对其进行探测.

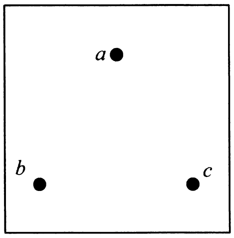


图1

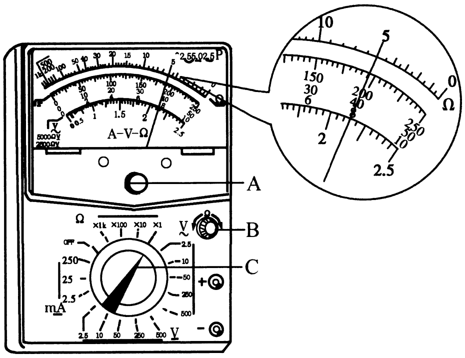


图2

(1)在使用多用电表前,发现指针不在左边“0”刻度线处,应先调整图 2 中多用电表的________(选填“A”“B”或“C”).

(2)在用多用电表的直流电压挡探测黑箱 a、b 接点间是否存在电源时,一表笔接 a,另一表笔应________(选填“短暂”或“持续”)接 b,同时观察指针偏转情况.

(3)在判定黑箱中无电源后,将选择开关旋至“×1”挡,调节好多用电表,测量各接点间的阻值.测量中发现,每对接点间正反向阻值均相等,测量记录如下表.两表笔分别接 a、b 时,多用电表的示数如图 2 所示.

请将记录表补充完整,并在答题卡的黑箱图中画出一种可能的电路.

两表笔接的接点	多用电表的示数
a、b	________ Ω
a、c	10.0 Ω
b、c	15.0 Ω

●解析

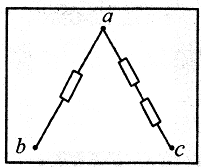
[分析]

(1)多用电表使用前应进行机械调零,机械调零装置为 A.

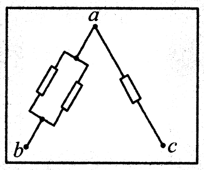
(2)使用多用电表进行测量时,为保证电表不被损坏往往要进行试触,即让两表笔进行短暂接触,观察指针偏转情况,若持续接触则有可能损坏电表.

• 解析

(3)黑箱中无电源且每对接点间正反阻值相等，由多用电表读数可知所缺数据为 5.0 Ω，由 a、b 间电阻为 5.0 Ω，a、c 间为 10.0 Ω，b、c 间为 15.0 Ω 知，电路为 a、b 间 5.0 Ω 的电阻与 a、c 间 10.0 Ω 的电阻串联而成，电路图如图所示.



或



[**答案**]

(1)A (2)短暂 (3)5.0 电路图见解析图

[**感悟方法**]

探测黑箱的关键是要熟练掌握各种元件的特性，然后再根据探测过程中出现的现象判断出是什么元件. 常见的元件特性如下表所示：

探究项目	应用挡位	现象
电源	电压挡	两接线柱正、反接时均无示数说明无电源
电阻	欧姆挡	两接线柱正、反接时示数相同
二极管	欧姆挡	正接时示数很小，反接时示数很大
电容器	欧姆挡	指针先指向某一小阻值，后逐渐增大到“∞”，且指针摆动越来越慢
电感线圈	欧姆挡	示数由“∞”逐渐减小到某一较小固定示数

实战演练

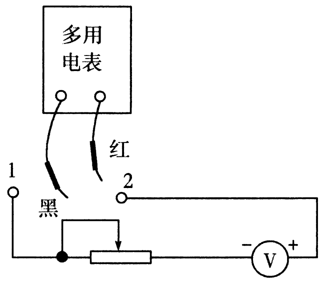
1. (2013·全国卷Ⅰ)某学生实验小组利用图甲所示电路，测量多用电表内电池的电动势和电阻“×1k”挡内部电路的总电阻. 使用的器材有：

多用电表；

电压表：量程 5 V，内阻十几千欧；

滑动变阻器：最大阻值 5 kΩ；

导线若干.



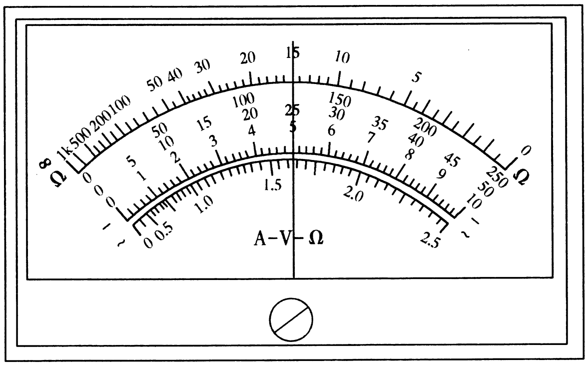
甲

回答下列问题：

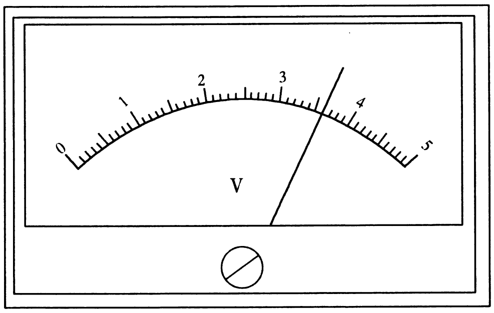
(1)将多用电表挡位调到电阻“×1k”挡,再将红表笔和黑表笔________,调零点.

(2)将图甲中多用电表的红表笔和________(选填“1”或“2”)端相连,黑表笔连接另一端.

(3)将滑动变阻器的滑片调到适当位置,使多用电表的示数如图乙所示,这时电压表的示数如图丙所示. 多用电表和电压表的读数分别为________kΩ 和________V.



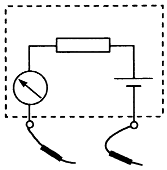
乙



丙

(4)调节滑动变阻器的滑片,使其接入电路的阻值为零. 此时多用电表和电压表的读数分别为 12.0 kΩ 和 4.00 V. 从测量数据可知,电压表的内阻为________kΩ.

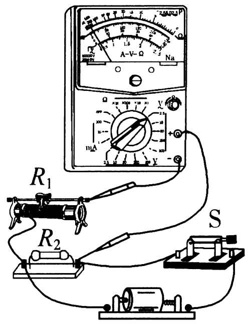
(5)多用电表电阻挡内部电路可等效为由一个无内阻的电池、一个理想电流表和一个电阻串联而成的电路,如图丁所示. 根据前面的实验数据计算可得,此多用电表内电池的电动势为________V,电阻“×1k”挡内部电路的总电阻为________kΩ.



丁

2. (2012·上海卷)在练习使用多用表的实验中

(1)某同学连接的电路如图所示



①若旋转选择开关,使其尖端对准直流电流挡,此时测得的是通过________的电流;

②若断开电路中的电键,旋转选择开关使其尖端对准欧姆挡,此时测得的是________的阻值;

③若旋转选择开关,使其尖端对准直流电压挡,闭合电键,并将滑动变阻器的滑片移至最左端,此时测得的是________两端的电压.

(2)(单选)在使用多用表的欧姆挡测量电阻时,若________.

A. 双手捏住两表笔金属杆,测量值将偏大

B. 测量时发现指针偏离中央刻度过大,则必需减小倍率,重新调零后再进行测量

C. 选择" ×10"倍率测量时发现指针位于 20 与 30 正中间,则测量值小于 25 Ω

D. 欧姆表内的电池使用时间太长,虽能完成调零,但测量值将略偏大

3. (2012·大纲全国卷)在黑箱内有一由四个阻值相同的电阻构成的串并联电路,黑箱面板上有三个接线柱 1、2 和 3. 用欧姆表测得 1、2 接线柱之间的电阻为 1 Ω,2、3 接线柱之间的电阻为 1.5 Ω,1、3 接线柱之间的电阻为 2.5 Ω.

(1)在虚线框中画出黑箱中的电阻连接方式;



(2)如果将 1、3 接线柱用导线连接起来,1、2 接线柱之间的电阻为________ Ω.

4. 二极管具有独特的单向导电性,当在二极管两极之间所加正向电压小于某值时,二极管的电阻很大(1×10^6 Ω,甚至更大),而当正向电压超过某值时,二极管的电阻随两端电压的升高而急剧减小. 为了探究二极管的导电特性:

(1)实验小组先用多用电表判断二极管的极性. 步骤如下:

A. 将多用电表置于欧姆表" ×100"挡,短接红、黑表笔,调整________,使指针指向表盘右侧"0"位置;

B. 将二极管串接在两表笔之间,多用电表示数如图 1 中 a 所示;

C. 将二极管两极对调,多用电表示数如图 1 中 b 所示,则此时与红表笔接触的是二极管的________(填“正”或“负”)极.

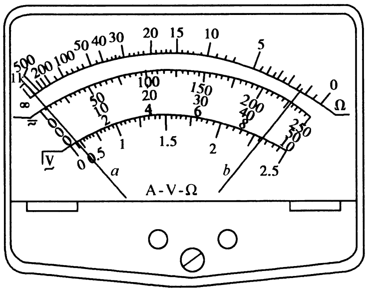


图 1

(2)实验小组设计了如图 2 所示的实验电路,通过实验测得相关数据如下表.

正向电压 U/V	正向电流 I/mA
0. 10	0
0. 20	0
0. 30	0
0. 40	0. 02
0. 50	0. 26
0. 55	0. 56
0. 60	1. 13
0. 65	1. 79
0. 68	2. 37
0. 70	3. 00

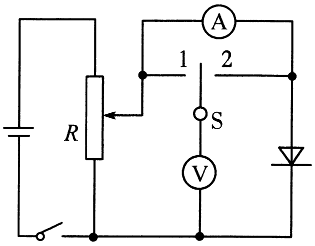


图 2

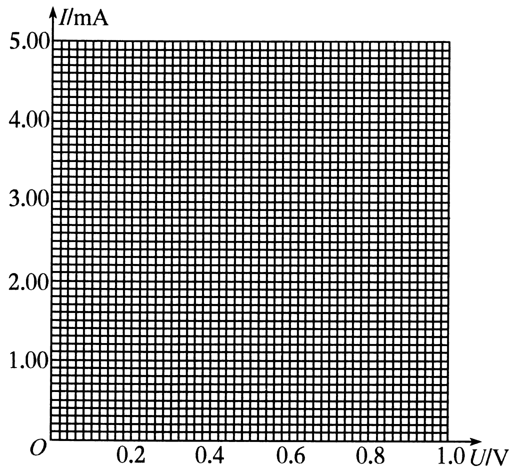


图 3

①由二极管的特性和表中数据可知,当电压表示数为 0.10 ~ 0.30 V 时,图中开关 S 一定接在位置________;

②根据表中数据,在图 3 中作出二极管的伏安特性曲线(要求保留所描的点迹),由图线可知,二极管是________(填“线性”或“非线性”)元件.

(3)若此二极管为发光二极管,正常发光时通过的电流为 3.00 mA,若用 1.5 V 的电源供电,则应该给二极管________(填“串”或“并”)联一个约________Ω 的电阻.(结果保留三位有效数字)

专题十六　传感器的简单使用

典例剖析

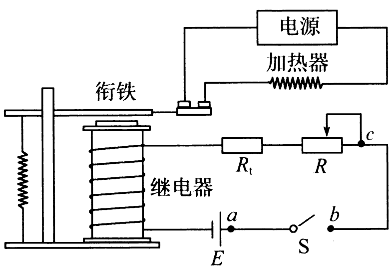
题型 1：热敏电阻

【例 1】(2017 · 江苏卷)某同学通过实验制作一个简易的温控装置，实验原理电路图如图甲所示，继电器与热敏电阻 R_t、滑动变阻器 R 串联接在电源 E 两端，当继电器的电流超过 15 mA 时，衔铁被吸合，加热器停止加热，实现温控. 继电器的电阻约为 20 Ω，热敏电阻的阻值 R_t 与温度 t 的关系如下表所示.

t/℃	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0
R_t/Ω	199.5	145.4	108.1	81.8	62.9	49.1

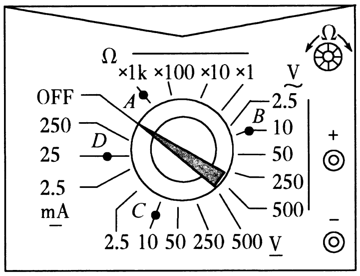
(1)提供的实验器材有：电源 E_1(3 V，内阻不计)、电源 E_2(6 V，内阻不计)、滑动变阻器 R_1(0 ~ 200 Ω)、滑动变阻器 R_2(0 ~ 500 Ω)、热敏电阻 R_t、继电器、电阻箱(0 ~ 999.9 Ω)、开关 S、导线若干.

为使该装置实现对 30 ~ 80 ℃之间任一温度的控制，电源 E 应选用________(选填"E_1"或"E_2")，滑动变阻器 R 应选用________(选填"R_1"或"R_2").



甲

(2)实验发现电路不工作. 某同学为排查电路故障，用多用电表测量各接点间的电压，则应将如图乙所示的选择开关旋至________(选填"A""B""C"或"D").



乙

(3)合上开关 S，用调节好的多用电表进行排查，在图甲中，若只有 b、c 间断路，则应发现表笔接入 a、b 时指针________(选填“偏转”或“不偏转”)，接入 a、c 时指针________(选填“偏转”或“不偏转”).

(4)排除故障后，欲使衔铁在热敏电阻为 50 ℃时被吸合，下列操作步骤的正确顺序是________.(填写各步骤前的序号)

①将热敏电阻接入电路

②观察到继电器的衔铁被吸合

③断开开关，将电阻箱从电路中移除

④合上开关，调节滑动变阻器的阻值

⑤断开开关，用电阻箱替换热敏电阻，将阻值调至 108.1 Ω

● 解析

[**分析**]

(1)由于继电器的电流超过 15 mA 时，衔铁才能被吸合，若电源 E 取 $E_1=3$ V 时，由闭合电路欧姆定律得

$$I_1=\frac{E_1}{R_{总}}=15\ \text{mA}=0.015\ \text{A}$$

即 $R_{总}=\dfrac{E_1}{I_1}=\dfrac{3\ \text{V}}{0.015\ \text{A}}=200\ \Omega$

而在 30 ℃时，热敏电阻的阻值为 199.5 Ω，再加上继电器的电阻 20 Ω，总电阻为 219.5 Ω，已超过 200 Ω，则无法使温度控制在 30 ℃，故 $E_1=3$ V 不能选择，只能选择 E_2，$E_2=6$ V，由闭合电路欧姆定律得

$$I_2=\frac{E_2}{R_{总}'}=0.015\ \text{A}$$

则 $R_{总}'=400\ \Omega$

此时若要使温度能控制在 80 ℃，热敏电阻 R_t 与继电器的总电阻为 49.1 Ω + 20 Ω = 69.1 Ω < 400 Ω，为使衔铁不至于在低于 80 ℃时被吸合，需串联一个滑动变阻器，且最大阻值不能小于 400 Ω − 69.1 Ω = 330.9 Ω，而 R_1 最大阻值为 200 Ω，不符合要求，故选 R_2.

●解析

(2)要测直流电压,选择开关只能旋至 C.

(3)测 a、b 间电压时,由于 b、c 间断路,电路中电流为0,故 a、b 间电压为0,因此多用电表指针不偏转;测 a、c 间电压就相当于测电源两极间电压,因此多用电表指针将会偏转.

(4)为了使在设计电路时方便,这里用电阻箱临时代替热敏电阻.查出50 ℃时热敏电阻的阻值,将电阻箱调至相同阻值,断开开关,用电阻箱替换热敏电阻,合上开关,调节滑动变阻器,使衔铁刚好被吸合.再断开开关,将电阻箱移除,换成热敏电阻.因此其合理顺序为⑤④②③①.

[**答案**]

(1)E_2　R_2　(2)C　(3)不偏转　偏转　(4)⑤④②③①

[**感悟方法**]

1. **仪器的选择方法**:一般来讲,在都满足题目条件的情况下,仪器的选择原则是:够用就好!这样做,一方面比较好操作,另一方面比较精确.这在很多电学实验题中都有所体现,同学们似乎“不管三七二十一”,只要选小的,差不多都可以.但要注意的是,这里有一个前提,就是“都要满足题目条件”,而本题恰恰出现了另外的情况,电源电动势太小,滑动变阻器最大阻值太小,不满足题目的条件.因此,对于仪器选择,我们还是要具体情况具体分析,以提高精确度,方便操作为目的.

2. **故障的判断方法**:对于断路故障的判断,我们要明确,首选电压表的方法,电压表并接到哪里,哪里有读数,一般来讲哪里就有断路故障存在.

题型 2：光敏电阻

【例 2】(2009·山东卷)为了节能和环保，一些公共场所使用光控开关控制照明系统. 光控开关可采用光敏电阻来控制，光敏电阻是阻值随着光的照度而发生变化的元件(照度可以反映光的强弱，光越强照度越大，照度单位为 lx). 某光敏电阻 R_{OS} 在不同照度下的阻值如下表所示：

照度(lx)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻(kΩ)	75	40	28	23	20	18

(1)根据表中数据，请在图 1 给定的坐标系中描绘出阻值随照度变化的曲线，并说明阻值随照度变化的特点.

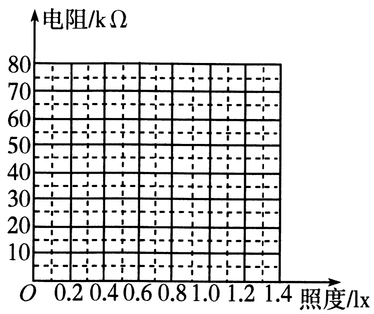


图 1

(2)如图 2 所示，当 1、2 两端所加电压上升至 2 V 时，控制开关自动启动照明系统，请利用下列器材设计一个简单电路，给 1、2 两端提供电压，要求当天色渐暗照度降低至 1.0 lx 时启动照明系统，在虚线框内完成电路原理图.(不考虑控制开关对所设计电路的影响)

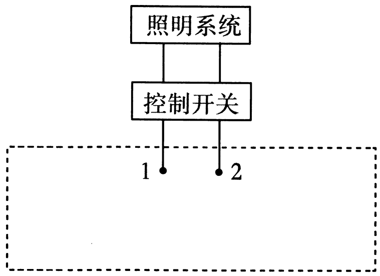


图2

提供的器材如下：

光敏电阻 R_{OS}(符号 ，阻值见上表)

直流电源 E(电动势 3 V，内阻不计)；

定值电阻：$R_1 = 10$ kΩ，$R_2 = 20$ kΩ，$R_3 = 40$ kΩ(限选其中之一并在图中标出)

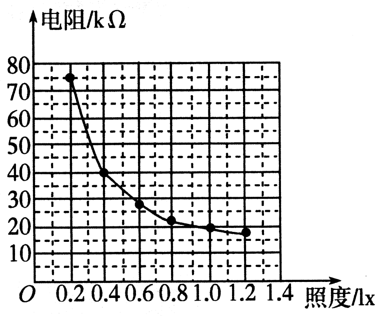
开关 S 及导线若干.

●解析

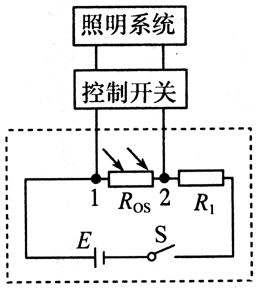
[**分析**]

(1)根据表中的数据,在坐标系中描点连线,得到如图甲所示的变化曲线.

由图可知阻值随照度变化的特点:光敏电阻的阻值随光照强度的增大非线性减小.



甲



乙

(2)因天色渐暗照度降低至1.0 lx时启动照明系统,此时光敏电阻阻值为20 kΩ,两端电压为2 V,电源电动势为3 V,故应加上一个分压电阻,分压电阻阻值为10 kΩ,即选用R_1.此电路的原理图如图乙所示.

[**答案**]

(1)如解析图甲所示

光敏电阻的阻值随光照强度的增大非线性减小

(2)如解析图乙所示

[**感悟方法**]

此类问题本质上是非线性电阻与电源连接来判断是否工作的工作点问题.这个工作点就是:照度降低至1.0 lx时启动照明系统.从非线性曲线中可获知此时光敏电阻阻值为20 kΩ,再考虑"当1、2两端所加电压上升至2 V时,控制开关自动启动照明系统"可知:照度为1.0 lx时启动照明系统,此时光敏电阻阻值为20 kΩ,电压2 V.再根据电路特征,电路设计水到渠成.

题型3：磁敏电阻

【例3】(2008·山东卷)2007年诺贝尔物理学奖授予了两位发现“巨磁电阻”效应的物理学家.材料的电阻随磁场的增加而增大的现象称为磁阻效应,利用这种效应可以测量磁感应强度.

若图1为某磁敏电阻在室温下的电阻-磁感应强度特性曲线,其中 R_B、R_0 分别表示有、无磁敏电阻的阻值.为了测量磁感应强度 B,需先测量磁敏电阻处于磁场中的电阻值 R_B.请按要求完成下列实验.

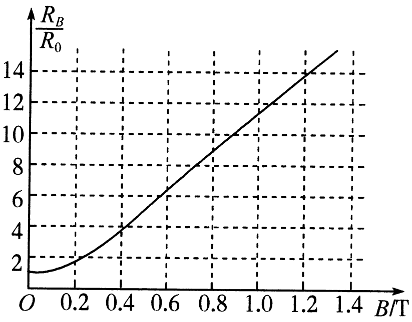


图1

(1)设计一个可以测量磁场中该磁敏电阻阻值的电路,在图2的虚线框内画出实验电路原理图(磁敏电阻及所处磁场已给出,待测磁场磁感应强度大小约为0.6~1.0 T,不考虑磁场对电路其他部分的影响).要求误差较小.

提供的器材如下:

A.磁敏电阻,无磁场时阻值 $R_0=150\ \Omega$

B.滑动变阻器 R,全电阻约20 Ω

C.电流表A,量程2.5 mA,内阻约30 Ω

D.电压表V,量程3 V,内阻约3 kΩ

E.直流电源 E,电动势3 V,内阻不计

F.开关S,导线若干

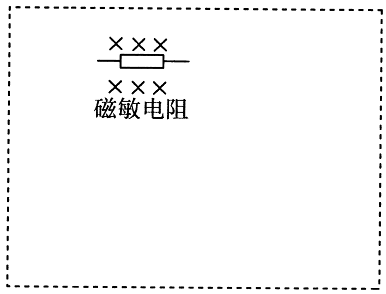


图2

(2)正确接线后,将磁敏电阻置入待测磁场中,测量数据如下表:

	1	2	3	4	5	6
U(V)	0.00	0.45	0.91	1.50	1.79	2.71
I(mA)	0.00	0.30	0.60	1.00	1.20	1.80

根据上表可求出磁敏电阻的测量值 $R_B=$________Ω,结合图1可知待测磁场的磁感应强度 $B=$________T.

(3)试结合图1简要回答,磁感应强度 B 在 0~0.2 T 和 0.4~1.0 T 范围内磁敏电阻阻值的变化规律有何不同?

(4)某同学查阅相关资料时看到了图3所示的磁敏电阻在一定温度下的电阻-磁感应强度特性曲线(关于纵轴对称),由图线可以得到什么结论?

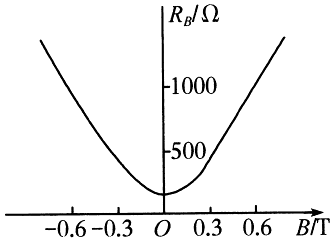
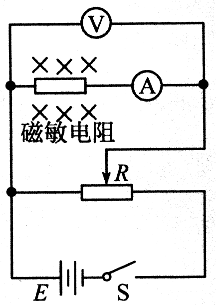


图3

● 解析

[分析]

(1)当 $B=0.6$ T 时,磁敏电阻阻值约为 $6\times150\ \Omega=900\ \Omega$,当 $B=1.0$ T 时,磁敏电阻阻值约为 $11\times150\ \Omega=1\ 650\ \Omega$. 由于滑动变阻器全电阻约 20 Ω 比磁敏电阻的阻值小得多,故滑动变阻器选择分压式接法;由于 $\frac{R_x}{R_A}>\frac{R_V}{R_x}$,所以电流表应内接. 电路图如图所示.



(2)**方法一**:根据表中数据可以求得磁敏电阻的阻值分别为:

$$R_1=\frac{0.45}{0.30\times10^{-3}}\ \Omega=1\ 500\ \Omega,R_2=\frac{0.91}{0.60\times10^{-3}}\ \Omega\approx1\ 516.7\ \Omega,$$

$$R_3=\frac{1.50}{1.00\times10^{-3}}\ \Omega=1\ 500\ \Omega,R_4=\frac{1.79}{1.20\times10^{-3}}\ \Omega\approx1\ 491.7\ \Omega,$$

$$R_5=\frac{2.71}{1.80\times10^{-3}}\ \Omega\approx1\ 506\ \Omega,$$

●解析

故电阻的测量值为 $R=\frac{R_1+R_2+R_3+R_4+R_5}{5}\ \Omega\approx 1\ 503\ \Omega$(1 500～1 503 Ω 都算正确.)

由于$\frac{R}{R_0}=\frac{1\ 503}{150}\approx 10$,从题图 1 中可以读出 $B=0.9$ T.

方法二:根据表中的数据作出 U-I 图象,图象的斜率即为电阻(略).

(3)在 0～0.2 T 范围内,图线为曲线,故磁敏电阻的阻值随磁感应强度非线性变化(或非均匀变化);在 0.4～1.0 T 范围内,图线为直线,故磁敏电阻的阻值随磁感应强度线性变化(或均匀变化);

(4)从题图 3 中可以看出,当加磁感应强度大小相等、方向相反的磁场时,磁敏电阻的阻值相等,故磁敏电阻的阻值与磁场方向无关.

[**答案**]

(1)如解析图所示

(2)1 500　0.90

(3)在 0～0.2 T 范围内,磁敏电阻的阻值随磁感应强度非线性变化(或不均匀变化);在 0.4～1.0 T 范围内,磁敏电阻的阻值随磁感应强度线性变化(或均匀变化)

(4)磁场反向,磁敏电阻的阻值不变.

[**感悟方法**]

1. **电路设计方法:**本题从本质上看,是一个伏安法测电阻的电路设计问题,要考虑两个选择:一是滑动变阻器的分压与限流的选择;二是电流表的外接与内接的选择.
2. **数据处理方法:**一是根据数据表格获取信息,由数据表格求电阻. 二是根据图线描绘磁敏电阻的特性.

题型 4：力电传感器

【例 4】(2008 · 四川卷)如图 1 所示装置可以用来测量硬弹簧(即劲度系数较大的弹簧)的劲度系数 k. 电源的电动势为 E,内阻可忽略不计;滑动变阻器全长为 L,重力加速度为 g. V 为理想电压表. 当木板上没有放重物时,滑动变阻器的触头位于图中 a 点,此时电压表示数为零. 在木板上放置质量为 m 的重物,滑动变阻器的触头随木板一起下移. 由电压表的示数 U 及其他给定条件,可计算出弹簧的劲度系数 k.

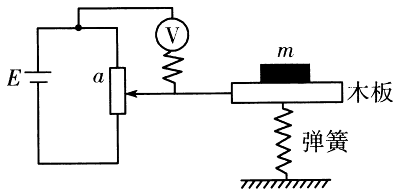


图 1

(1)写出 m、U 与 k 之间所满足的关系式____________________.

(2)已知 $E=1.50\ \text{V}$,$L=12.0\ \text{cm}$,$g=9.80\ \text{m/s}^2$. 测量结果如下表:

m(kg)	1.00	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50
U(V)	0.108	0.154	0.290	0.446	0.608	0.740

①在图 2 中给出的坐标纸上利用表中数据描出 m-U 直线.

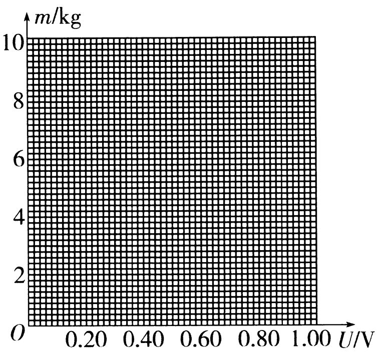


图 2

②m-U 直线的斜率为________kg/V;

③弹簧的劲度系数 $k=$________N/m(结果均保留三位有效数字).

●解析

［分析］

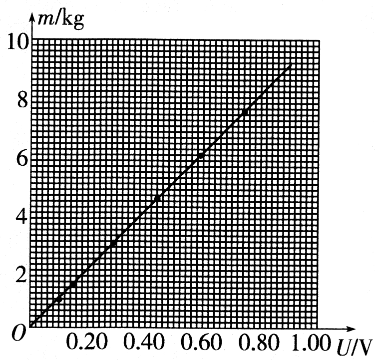
(1)设放置质量 m 的物体时弹簧压缩量增量为 x,则有

$$mg = kx$$

又 $U = \frac{x}{L}E$

解得 $m = \frac{Lk}{Eg}U$.

(2)①用描点法作图,作出的图象如图所示.



②选取(0,0)、(0.90,9)两点,则斜率为 $\frac{\Delta m}{\Delta U} = \frac{9-0}{0.90-0}$ kg/V = 10.0 kg/V.

③因 $m = \frac{Lk}{Eg}U$,故 $\frac{Lk}{Eg} = \frac{\Delta m}{\Delta U}$,

$$k = \frac{\Delta m}{\Delta U} \cdot \frac{Eg}{L} = 10.0 \times \frac{1.50 \times 9.80}{0.120}\ \text{N/m} = 1.23 \times 10^3\ \text{N/m}.$$

［答案］

(1) $m = \frac{Lk}{Eg}U$　(2)①见解析图　②10.0　③$1.23 \times 10^3$

●解析

［**感悟方法**］

1. **综合题的处理方法：**此题的本质是一个力电综合类问题，解决的方法一般都是先从各知识领域求解相应的问题，然后找到力与电的结合点，将两方面的结果对接，问题便迎刃而解.

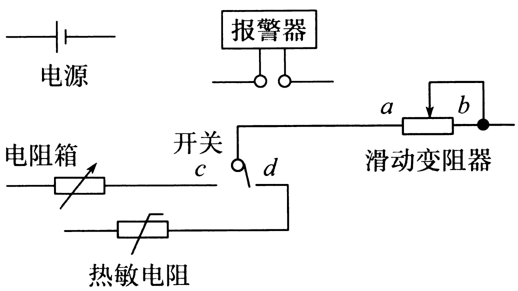
2. **简单美的组合：**本题的解答充分体现了物理的简单美. 重物压缩弹簧满足 $mg=kx$，体现了弹簧受力与形变之间的简单关系. $U=\frac{x}{L}E$ 体现了分压电路获得的电压与电阻长度的简单关系，两个简单关系的巧妙组合，创造出了方便使用的仪器——电子秤.

实战演练

1. (2016·全国卷Ⅰ)现要组装一个由热敏电阻控制的报警系统，要求当热敏电阻的温度达到或超过 60 ℃时，系统报警. 提供的器材有：热敏电阻，报警器(内阻很小，流过的电流超过 I_c 时就会报警)，电阻箱(最大阻值为 999.9 Ω)，直流电源(输出电压为 U，内阻不计)，滑动变阻器 R_1(最大阻值为 1 000 Ω)，滑动变阻器 R_2(最大阻值为 2 000 Ω)，单刀双掷开关一个，导线若干.

在室温下对系统进行调节. 已知 U 约为 18 V，I_c 约为 10 mA；流过报警器的电流超过 20 mA时，报警器可能损坏；该热敏电阻的阻值随温度升高而减小，在 60 ℃时阻值为 650.0 Ω.

(1)完成待调节的报警系统原理电路图的连线.



(2)电路中应选用滑动变阻器________(填“R_1”或“R_2”).

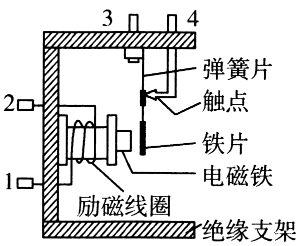
(3)按照下列步骤调节此报警系统：

①电路接通前，需将电阻箱调到一固定的阻值，根据实验要求，这一阻值为________Ω；滑动变阻器的滑片应置于______(填“a”或“b”)端附近，不能置于另一端的原因是____.

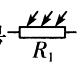
②将开关向______(填“c”或“d”)端闭合，缓慢移动滑动变阻器的滑片，直至______.

(4)保持滑动变阻器滑片的位置不变，将开关向另一端闭合，报警系统即可正常使用.

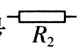
2.(2009·宁夏卷)青岛奥运会帆船赛均采用风力发电给蓄电池充电，为路灯提供电能. 用光敏电阻作为传感器控制路灯电路的开关，实现自动控制. 光敏电阻的阻值随照射光的强弱而变化，作为简化模型，可以近似认为，照射光较强(如白天)时电阻几乎为0；照射光较弱(如黑天)时电阻接近于无穷大. 利用光敏电阻作为传感器，借助电磁开关，可以实现路灯自动在白天关闭，黑天打开. 电磁开关的内部结构如图所示. 1，2 两接线柱之间是励磁线圈，3、4 两接线柱分别与弹簧片和触点连接. 当励磁线圈中电流大于 50 mA 时，电磁铁吸合铁片，弹簧片和触点分离，3、4 断开；电流小于 50 mA 时，3、4 接通. 励磁线圈中允许通过的最大电流为 100 mA.

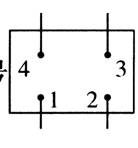


(1)利用以下器材设计一个自动控制路灯的电路，画出电路原理图.

光敏电阻 R_1，符号；

灯泡 L，额定功率 40 W，额定电压 36 V，符号；

保护电阻 R_2，符号；

电磁开关，符号

；

蓄电池 E，电压 36 V，内阻很小；

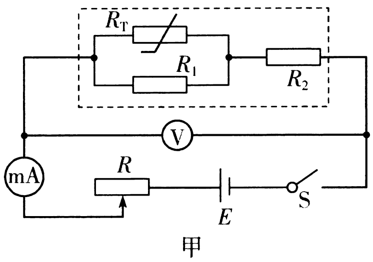
开关 S，导线若干.

(2)回答下列问题：

①如果励磁线圈的电阻为200 Ω，励磁线圈允许加的最大电压为________V，保护电阻 R_2 的阻值范围为________Ω.

②在有些应用电磁开关的场合，为了安全，往往需要在电磁铁吸合铁片时，接线柱3、4之间从断开变为接通. 为此，电磁开关内部结构应如何改造？请结合本题中电磁开关内部结构图说明.

3.(2010·全国卷)对温度敏感的半导体材料制成的某热敏电阻 R_T，在给定温度范围内，其阻值随温度的变化是非线性的. 某同学将 R_T 和两个适当的固定电阻 R_1、R_2 连成如图甲虚线框内所示的电路，以使该电路的等效电阻 R_L 的阻值随 R_T 所处环境温度的变化近似为线性的，且具有合适的阻值范围. 为了验证这个设计，他采用伏安法测量在不同温度下 R_L 的阻值，测量电路如图甲所示，图中电压表内阻很大. R_L 的测量结果如下表所示.

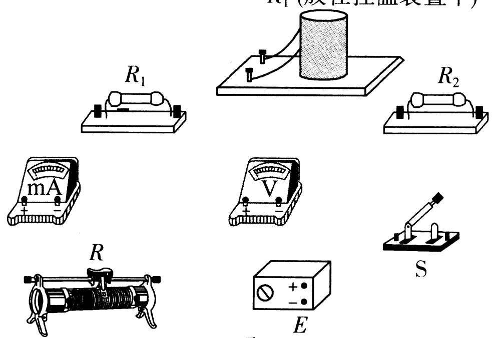


甲

温度 t(℃)	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
阻值 R_L(Ω)	54.3	51.5	48.3	44.7	41.4	37.9	34.7

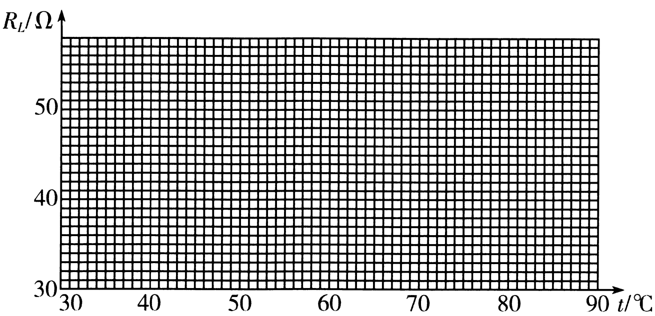
回答下列问题:

(1)根据图甲所示的电路,在如图乙所示的实物图上连线.



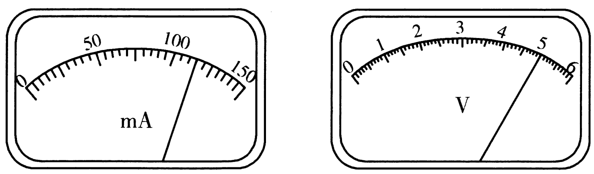
乙

(2)为了验证 R_L 与 t 之间近似为线性关系,在图丙坐标纸上作 R_L-t 关系图线.



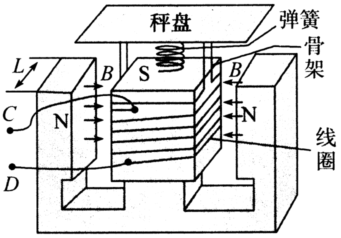
丙

(3)在某一温度下,电路中的电流表、电压表的示数如图丁所示.电流表的读数为________,电压表的读数为________.此时等效电阻 R_L 的阻值为________;热敏电阻所处环境的温度约为________.



丁

4.(2014·重庆卷)某电子天平原理如图所示,E形磁铁的两侧为N极,中心为S极,两极间的磁感应强度大小均为B,磁极宽度均为L,忽略边缘效应.一正方形线圈套于中心磁极,其骨架与秤盘连为一体,线圈两端C、D与外电路连接,当质量为m的重物放在秤盘上时,弹簧被压缩,秤盘和线圈一起向下运动(骨架与磁极不接触),随后外电路对线圈供电,秤盘和线圈恢复到未放重物时的位置并静止,由此时对应的供电电流I可确定重物的质量.已知线圈匝数为n,线圈电阻为R,重力加速度为g,问:



(1)线圈向下运动过程中,线圈中感应电流是从C端还是从D端流出?

(2)供电电流I是从C端还是从D端流入?求重物质量与电流的关系.

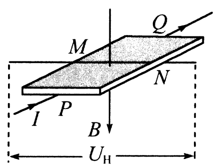
(3)若线圈消耗的最大功率为P,该电子天平能称量的最大质量是多少?

专题十七　电学创新实验

典例剖析

题型 1：测定半导体薄片的霍尔系数

【例 1】(2013 · 山东卷)霍尔效应是电磁基本现象之一，近期我国科学家在该领域的实验研究上取得了突破性进展. 如图甲所示，在一矩形半导体薄片的 P、Q 间通入电流 I，同时外加与薄片垂直的磁场 B，在 M、N 间出现电压 U_H，这个现象称为霍尔效应，U_H 为霍尔电压，且满足 $U_H = k\frac{IB}{d}$，式中 d 为薄片的厚度，k 为霍尔系数. 某同学通过实验来测定该半导体薄片的霍尔系数.



甲

(1)若该半导体材料是空穴(可视为带正电粒子)导电，电流与磁场方向如图甲所示，该同学用电压表测量 U_H 时，应将电压表的“+”接线柱与________(填“M”或“N”)端通过导线连接.

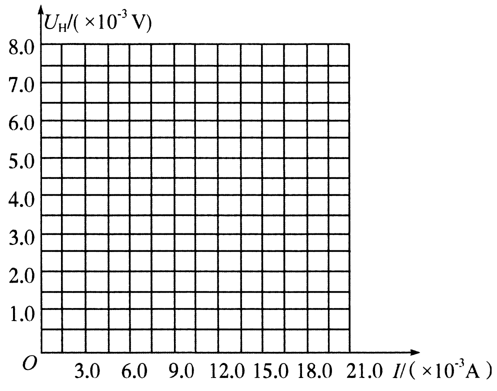
(2)已知薄片厚度 $d = 0.40$ mm，该同学保持磁感应强度 $B = 0.10$ T不变，改变电流 I 的大小，测量相应的 U_H 值，记录数据如下表所示.

$I/(\times10^{-3}$ A)	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
$U_H/(\times10^{-3}$ V)	1.1	1.9	3.4	4.5	6.2	6.8

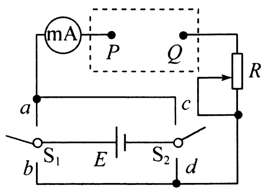
根据表中数据在给定坐标纸上(见图乙)画出 U_H-I 图线，利用图线求出该材料的霍尔系数为________$\times10^{-3}$ V · m · A^{-1} · T^{-1}(保留 2 位有效数字).

(3)该同学查阅资料发现，使半导体薄片中的电流反向再次测量，取两个方向测量的平均值，可以减小霍尔系数的测量误差，为此该同学设计了如图丙所示的测量电路. S_1、S_2 均为单刀双掷开关，虚线框内为半导体薄片(未画出). 为使电流自 Q 端流入，P 端流出，应将 S_1 掷向________(填“a”或“b”)，S_2 掷向________(填“c”或“d”).

为了保证测量安全,该同学改进了测量电路,将一合适的定值电阻串联在电路中. 在保持其他连接不变的情况下,该定值电阻应串联在相邻器件________和________(填器件代号)之间.



乙



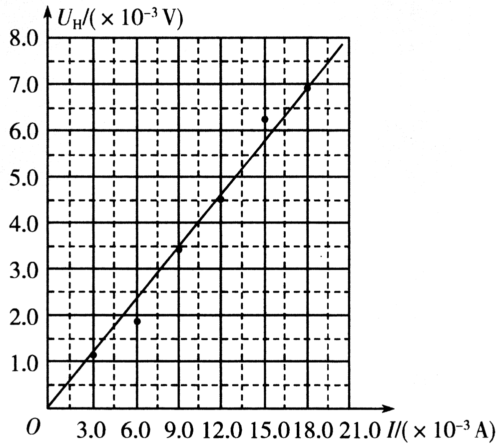
丙

● **解析**

[**分析**]

(1)由于导电空穴为带正电的粒子,由电流方向和磁场方向结合左手定则可判断出正电粒子向 M 板偏转,故 M 板的电势高,电压表的"+"接线柱应与 M 端连接.

(2)根据表格数据,在坐标纸上描点、连线,注意使图线尽可能多的穿过坐标点,不在线上的点均匀分布在线的两侧,误差较大的点予以舍去.



● 解析

由题意得 $U_H = k\dfrac{IB}{d}$，知 $\dfrac{U_H}{I} = k\dfrac{B}{d}$，即图线的斜率表示 $k\dfrac{B}{d}$，将已知数据代入可求得 $k = 1.5\times10^{-3}\ \mathrm{V\cdot m\cdot A^{-1}\cdot T^{-1}}$.

(3)外电路中，电流由电源正极流出，经用电器流入电源负极，故 S_1 接 b，S_2 接 c 时，电流自 Q 端流入 P 端流出；为了避免开关接错位置导致电源短路而被烧坏，应在开关 S_1 或 S_2 和电源 E 之间串联一保护电阻.

[**答案**]

(1)M

(2)如解析图所示　1.5(1.4 或 1.6)

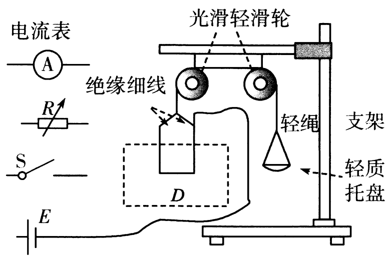
(3)b　c　S_1(或 S_2)　E

[**感悟方法**]

1. **实验创新点**：本题将科学应用与电学实验结合起来，重点考查实验数据的处理与电路设计.
2. **两类霍尔效应**：一类是带正电的导电空穴的，一类是导电自由电子的.

题型 2：测量磁场的磁感应强度

【例 2】(2012 · 全国卷)如图所示，图中虚线框内存在一沿水平方向、且与纸面垂直的匀强磁场. 现通过测量通电导线在磁场中所受的安培力，来测量磁场的磁感应强度大小、并判定其方向. 所用部分器材已在图中给出，其中 D 为位于纸面内的 U 形金属框，其底边水平，两侧边竖直且等长；E 为直流电源；R 为电阻箱；A 为电流表；S 为开关. 此外还有细沙、天平、米尺和若干轻质导线.



(1)在图中画线连接成实验电路图.

(2)完成下列主要实验步骤中的填空：

①按图接线.

②保持开关 S 断开，在托盘内加入适量细沙，使 D 处于平衡状态；然后用天平称出细沙质量 m_1.

③闭合开关S,调节R的值使电流大小适当,在托盘内重新加入适量细沙,使D __________;然后读出__________,并用天平称出__________.

④用米尺测量__________.

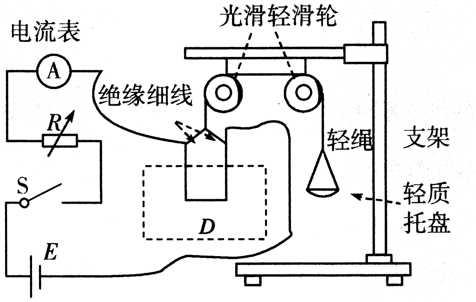
(3)用测得的物理量和重力加速度g表示磁感应强度的大小,可以得出$B=$ __________.

(4)判定磁感应强度方向的方法是:若__________,磁感应强度方向垂直纸面向外;反之,磁感应强度方向垂直纸面向里.

● 解析

[分析]

(1)依题意:绝缘线圈、电流表、变阻器、开关、电源组成闭合回路,连接如图所示.



(2)③只有绝缘线圈重新达到平衡状态才可以读出电流表的示数,测出细沙的质量,利用平衡条件得到绝缘线圈所受安培力、拉力、重力的关系. 故三处应填:重新处于平衡状态;电流表的示数I;此时细沙的质量.

④要求安培力必须知道磁场中导线受安培力的有效长度即D的底边长度.

(3)由拉力、安培力、重力三力平衡得:$F \pm F_{安}=m_1 g$,且$F=m_2 g$、$F_{安}=BIl$.

所以$B=\dfrac{|m_2-m_1|g}{Il}$

(4)磁感应强度方向垂直纸面向外,D受安培力向下,绝缘线圈平衡必须$m_2>m_1$.

● 解析

[**答案**]

(1)如解析所示

(2)③重新处于平衡状态　电流表的示数 I　此时细沙的质量 m_2　④D 的底边长度 l

(3)$\frac{|m_2-m_1|g}{Il}$　(4)$m_2>m_1$

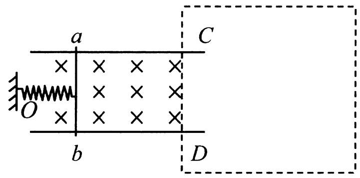
[**感悟方法**]

1. **实验的创新点**:本实验的目的是测定磁感应强度,具体涉及到物体的平衡、安培力、闭合电路欧姆定律等知识.

2. **从实验原理出发**:实验中需要测什么物理量?需要什么仪器?能得出什么结论?这些问题思考的出发点都是实验原理.

题型3:测定弹簧的劲度系数

【例3】(2009·四川卷)在弹性限度内,弹簧弹力的大小与弹簧伸长(或缩短)的长度的比值,叫做弹簧的劲度系数.为了测量一轻弹簧的劲度系数,某同学进行了如下实验设计:如图所示,将两平行金属导轨水平固定在竖直向下的匀强磁场中,金属杆 ab 与导轨接触良好,水平放置的轻弹簧一端固定于 O 点,另一端与金属杆连接并保持绝缘.在金属杆滑动的过程中,弹簧与金属杆、金属杆与导轨均保持垂直,弹簧的形变始终在弹性限度内,通过减小金属杆与导轨之间的摩擦和在弹簧形变较大时读数等方法,使摩擦对实验结果的影响可忽略不计.



请你按要求帮助该同学解决实验所涉及的两个问题.

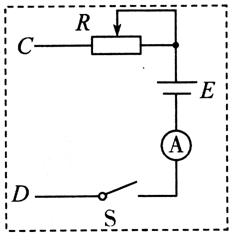
(1)帮助该同学完成实验设计.请你用低压直流电源(—|├—)、滑动变阻器(滑动变阻器符号)、电流表(Ⓐ)、开关(—⌐—)设计一电路图,画在图中虚线框内,并正确连在导轨的 C、D 两端.

(2)若已知导轨间的距离为 d,匀强磁场的磁感应强度为 B,正确连接电路后,闭合开关,使金属杆随挡板缓慢移动,当移开挡板且金属杆静止时,测出通过金属杆的电流为 I_1,记下金属杆的位置,断开开关,测出弹簧对应的长度为 x_1;改变滑动变阻器的阻值,再次让金属杆静止时,测出通过金属杆的电流为 I_2,弹簧对应的长度为 x_2,则弹簧的劲度系数 $k=$__________.

●解析

[**分析**]

(1)低压直流电源 E、滑动变阻器 R、电流表、开关 S 串接在 C、D 两点之间,如图所示.



(2)**方法一**:设弹簧原长为 L_0,应用胡克定律有

$k(x_1-L_0)=BI_1d$、$k(x_2-L_0)=BI_2d$,

两式相减可得 $k(x_1-x_2)=B(I_1-I_2)d$,

解得 $k=\dfrac{Bd(I_1-I_2)}{x_1-x_2}$;

方法二:根据胡克定律 $F=kx$ 可得 $\Delta F=k\Delta x$,

则 $k=\dfrac{\Delta F}{\Delta x}=\dfrac{Bd(I_1-I_2)}{x_1-x_2}$.

[**答案**]

(1)设计的电路如解析所示

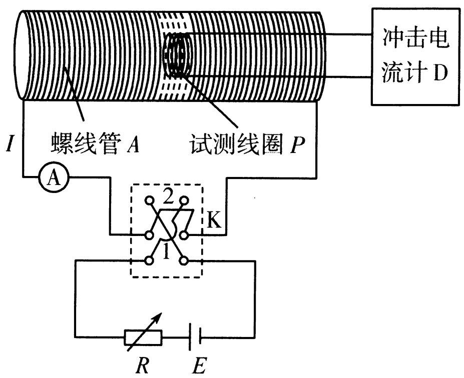
(2)$\dfrac{Bd(I_1-I_2)}{x_1-x_2}$或$\dfrac{Bd(I_2-I_1)}{x_2-x_1}$

[**感悟方法**]

实验的创新点:本实验的目的是测定弹簧的劲度系数,具体涉及到物体的平衡、安培力、闭合电路欧姆定律等知识. 同学们不难发现,这个问题与前一个问题的本质相同,只是求解的问题不同而已. 从这一点看出,高考真题本身是一个系统,是高考复习的关键资料.

实战演练

1.(2008·上海卷)如图所示是测量通电螺线管 A 内部磁感应强度 B 及其与电流 I 关系的实验装置. 将截面积为 S、匝数为 N 的小试测线圈 P 置于螺线管 A 中间,试测线圈平面与螺线管的轴线垂直,可认为穿过该试测线圈的磁场均匀. 将试测线圈引线的两端与冲击电流计 D 相连. 拨动双刀双掷换向开关 K,改变通入螺线管的电流方向,而不改变电流大小,在 P 中产生的感应电流引起 D 的指针偏转.



实验次数	I(A)	$B(\times 10^{-3}\text{T})$
1	0.5	0.62
2	1.0	1.25
3	1.5	1.88
4	2.0	2.51
5	2.5	3.12

(1)将开关合到位置 1,待螺线管 A 中的电流稳定后,再将 K 从位置 1 拨到位置 2,测得 D 的最大偏转距离为 d_m,已知冲击电流计的磁通灵敏度为 D_ϕ, $D_\phi=\dfrac{d_m}{N\Delta\phi}$,式中 $\Delta\phi$ 为单匝试测线圈磁通量的变化量. 则试测线圈所在处磁感应强度 $B=$______;若将 K 从位置 1 拨到位置 2 的过程所用的时间为 Δt,则试测线圈 P 中产生的平均感应电动势 $\varepsilon=$__________.

(2)调节可变电阻 R,多次改变电流并拨动 K,得到 A 中电流 I 和磁感应强度 B 的数据,见上表. 由此可得,螺线管 A 内部磁感应强度 B 和电流 I 的关系为 $B=$________.

(3)(多选)为了减小实验误差,提高测量的准确性,可采取的措施有________.

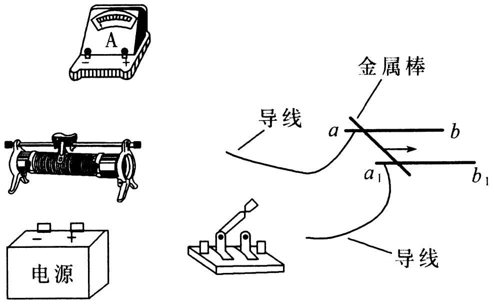
A. 适当增加试测线圈的匝数 N

B. 适当增大试测线圈的横截面积 S

C. 适当增大可变电阻 R 的阻值

D. 适当增大拨动开关的时间 Δt

2. (2016·全国卷Ⅲ)某同学用图中所给器材进行与安培力有关的实验. 两根金属导轨 ab 和 a_1b_1 固定在同一水平面内且相互平行,足够大的电磁铁(未画出)的 N 极位于两导轨的正上方,S 极位于两导轨的正下方,一金属棒置于导轨上且与两导轨垂直.



(1)在图中画出连线,完成实验电路. 要求滑动变阻器以限流方式接入电路,且在开关闭合后,金属棒沿箭头所示的方向移动.

(2)为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度,有人提出以下建议:

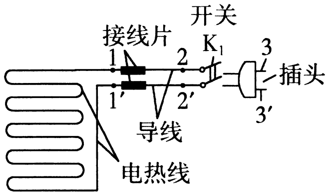
A. 适当增加两导轨间的距离

B. 换一根更长的金属棒

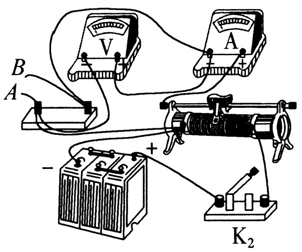
C. 适当增大金属棒中的电流

其中正确的是________(填入正确选项前的标号).

3. (2013·重庆卷)某同学对有故障的电热毯进行探究. 图甲是电热毯的电路示意图,其中电热线和导线通过金属接线片连接. 图乙为测试电路实物图,A、B 为测试表笔,电压表内阻很大,可视为理想电表.



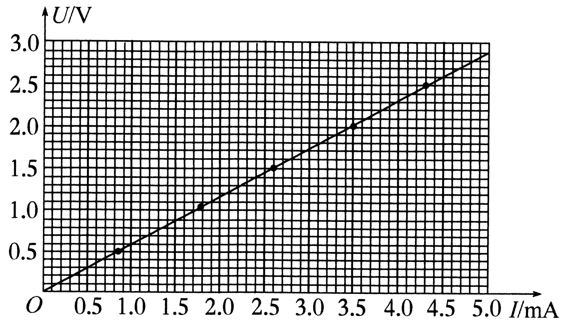
甲



乙

(1)请在下面虚线框内画出与图乙对应的电路图.

(2)断开 K_1,用上述测试电路在 1 和 1′之间检测得知电热线无故障,然后测得电热线的 U-I 曲线如图丙所示. 已知电热线材料的电阻率为 $2.8\times10^{-7}\ \Omega\cdot m$,电热线的直径为 0.200 mm. 可求得此电热线的电阻为________ kΩ,总长度为________ m.(结果均保留两位有效数字)



丙

(3)为了进一步检查故障,该同学闭合开关 K_1 和 K_2,用表笔 A 和 B 分别对图甲中所示的各点进行测试,部分测试结果如下表所示. 由此测试结果可判断出电路有断路,位置在________之间(在“1 和 2”“1′和 2′”“2 和 3”或“2′和 3′”中选填一项).

测试点		3 和 3′	1 和 1′	1 和 3	1 和 2′	2′和 3′
电表指针	电压表	有	有	无	有	无
有无偏转	电流表	无	有	有	无	有

专题十八　用单摆测定重力加速度

典例剖析

题型 1：用单摆测定重力加速度

【例 1】(2013 · 安徽卷)根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,可以通过实验测量当地的重力加速度. 如图 1 所示,将细线的上端固定在铁架台上,下端系一小钢球,就做成了单摆.

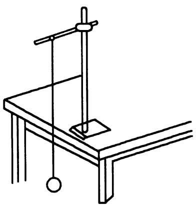


图 1

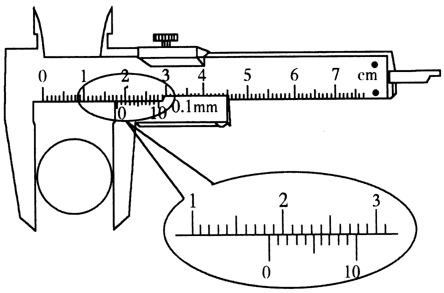


图 2

(1)用游标卡尺测量小钢球直径,示数如图 2 所示,读数为________mm.

(2)以下是实验过程中的一些做法,其中正确的有________.

a. 摆线要选择细些的、伸缩性小些的,并且尽可能长一些

b. 摆球尽量选择质量大些、体积小些的

c. 为了使摆的周期大一些,以方便测量,开始时拉开摆球,使摆线相距平衡位置有较大的角度

d. 拉开摆球,使摆线偏离平衡位置不大于 5°,在释放摆球的同时开始计时,当摆球回到开始位置时停止计时,此时间间隔 Δt 即为单摆周期 T

e. 拉开摆球,使摆线偏离平衡位置不大于 5°,释放摆球,当摆球振动稳定后,从平衡位置开始计时,记下摆球做 50 次全振动所用的时间 Δt,则单摆周期 $T=\frac{\Delta t}{50}$

●解析

［分析］

(1)十分度游标尺的第6个刻度线与主尺刻度线对齐，所以读数为18.6 mm.

(2)对于单摆，摆线质量可忽略且不可伸长，所以应选伸缩性小的细线，摆球应选密度较大、体积小的钢球；为使摆动周期长些，由$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$知，摆线应长些，所以选项a、b正确；为使单摆具有等时性，摆角应小于5°，要减小测量周期的误差，计时起点应选在摆球的平衡位置，且测量多次(N)全振动的总时间(Δt)，然后再算出周期$T=\frac{\Delta t}{N}$，选项e正确.

［答案］

(1)18.6　(2)abe

［感悟方法］

1. **游标卡尺的读数**：对三种游标卡尺的原理和精度做到准确理解并熟练掌握.

游标尺(mm)			精确度(mm)
刻度格数	刻度总长度	每小格的长度(mm)	
10	9	0.1	0.1
20	19	0.05	0.05
50	49	0.02	0.02

牢记、掌握读数规律和读数公式：

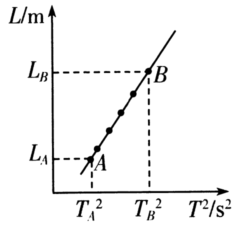
读数＝主尺上的整毫米数＋精确度×n(n为游标尺上与主尺某一刻度对齐的格数).

2. **单摆模型的条件**：摆线质量可忽略且不可伸长，所以应选伸缩性小的细线，摆球应选密度较大、体积小的钢球.

3. **单摆做简谐运动的条件**：为使单摆作简谐运动，具有等时性，摆角应小于5°.

题型 2：两种数据处理方法的误差分析

【例 2】(2008 · 天津卷)某同学利用单摆测定当地重力加速度，发现单摆静止时摆球重心在球心的正下方，他仍将从悬点到球心的距离当作摆长 L，通过改变摆线的长度，测得 6 组 L 和对应的周期 T，画出 L-T^2 图线，然后在图线上选取 A、B 两个点，坐标如图所示. 他采用恰当的数据处理方法，则计算重力加速度的表达式应为 $g=$_______________. 请你判断该同学得到的实验结果与摆球重心就在球心处的情况相比，将________________(填“偏大”“偏小”或“相同”).



● 解析

［分析］

设 A、B 的摆线长为 L_A 和 L_B，摆线到重心的距离为 L'，所以 A、B 两处的摆长分别为 L_A+L'和 L_B+L'，根据周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$得 $l=\frac{gT^2}{4\pi^2}$，

则 $L_A+L'=\frac{gT_A^2}{4\pi^2}$ ①

$L_B+L'=\frac{gT_B^2}{4\pi^2}$ ②

②－①得 $L_B-L_A=\frac{gT_B^2}{4\pi^2}-\frac{gT_A^2}{4\pi^2}=\frac{g(T_B^2-T_A^2)}{4\pi^2}$，

得 $g=\frac{4\pi^2(L_B-L_A)}{(T_B^2-T_A^2)}$，从式子中可以看出，最终的结果与重心的位置无关，所以不影响 g 值的测量.

［答案］

$\frac{4\pi^2(L_B-L_A)}{T_B^2-T_A^2}$ 相同

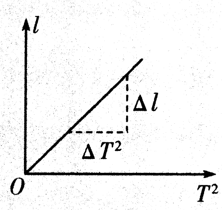
● 解析

［**感悟方法**］

处理数据有两种方法

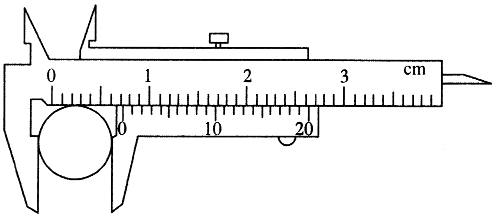
(1)公式法:测出30次或50次全振动的时间t,利用$T=\frac{t}{N}$求出周期;不改变摆长,反复测量三次,算出三次测得的周期的平均值$\bar{T}$,然后利用公式$g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$求重力加速度.

(2)图象法:由单摆周期公式不难推出:$l=\frac{gT^2}{4\pi^2}$,因此,分别测出一系列摆长l对应的周期T,作l-T^2的图象,图象应是一条通过原点的直线,如图所示,求出图线的斜率$k=\frac{\Delta l}{\Delta T^2}$,即可利用$g=4\pi^2 k$求重力加速度.

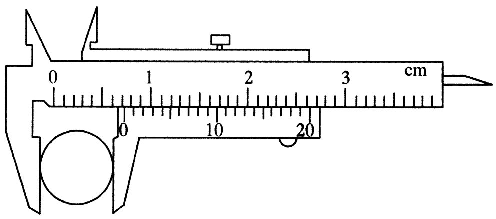


题型3:用传感器辅助研究单摆运动

【例3】(2009·浙江卷)(1)在“探究单摆周期与摆长的关系”实验中,两位同学用游标卡尺测量小球的直径的操作如图甲、乙所示.测量方法正确的是________(选填“甲”或“乙”).

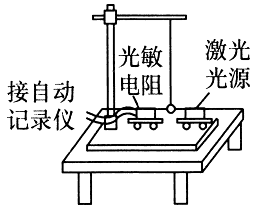


甲

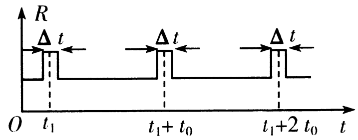


乙

(2)实验时,若摆球在垂直纸面的平面内摆动,为了将人工记录振动次数改为自动记录振动次数,在摆球运动的最低点的左、右两侧分别放置一激光光源与光敏电阻,如图丙所示.光敏电阻与某一自动记录仪相连,该仪器显示的光敏电阻阻值R随时间t的变化图线如图丁所示,则该单摆的振动周期为________.若保持悬点到小球顶点的绳长不变,改用直径是原小球直径2倍的另一小球进行实验,则该单摆的周期将________(填“变大”“不变”或“变小”),图丁中的Δt将________(填“变大”“不变”或“变小”).



丙



丁

●解析

[分析]

(1)游标卡尺应该用测量爪的外边对齐的地方测量，正确的是图乙.

(2)一个周期内小球应该两次经过最低点，使光敏电阻的阻值发生变化，故周期为 $t_1+2t_0-t_1=2t_0$；小球的直径变大后，摆长变长，周期变大；使得每次经过最低点时摆球的挡光时间变长，即 Δt 变大.

[答案]

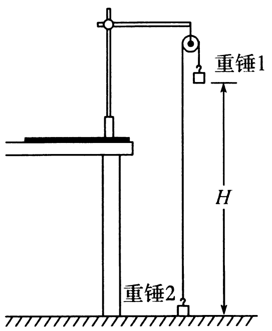
(1)乙　(2)$2t_0$　变大　变大

[感悟方法]

图形与图景结合：本题的难点是对周期的认识，一个周期内小球应该两次经过最低点，但是还要注意的是第一次经过最低点时应数"零"，从此时开始计时，两次经过最低点的时间为一个周期.

题型4：测定重力加速度的其他方法

【例4】(2018·江苏卷)某同学利用如图所示的实验装置来测量重力加速度 g. 细绳跨过固定在铁架台上的轻质滑轮，两端各悬挂一只质量为 M 的重锤. 实验操作如下：



①用米尺量出重锤 1 底端距地面的高度 H;

②在重锤 1 上加上质量为 m 的小钩码;

③左手将重锤 2 压在地面上,保持系统静止. 释放重锤 2,同时右手开启秒表,在重锤 1 落地时停止计时,记录下落时间;

④重复测量 3 次下落时间,取其平均值作为测量值 t.

请回答下列问题:

(1)步骤④可以减小对下落时间 t 测量的________(选填"偶然"或"系统")误差.

(2)实验要求小钩码的质量 m 要比重锤的质量 M 小很多,主要是为了________.

A. 使 H 测得更准确

B. 使重锤 1 下落的时间长一些

C. 使系统的总质量近似等于 $2M$

D. 使细绳的拉力与小钩码的重力近似相等

(3)滑轮的摩擦阻力会引起实验误差. 现提供一些橡皮泥用于减小该误差,可以怎么做?

(4)使用橡皮泥改进实验后,重新进行实验测量,并测出所用橡皮泥的质量为 m_0. 用实验中的测量量和已知量表示 g,得 $g=$________.

● 解析

[**分析**]

本题考查重力加速度的测量,意在考查考生的实验探究能力.

(1)时间测量是人为操作快慢和读数问题带来的误差,所以属于偶然误差.

(2)由于自由落体的加速度较大,下落 H 高度的时间较短,为了减小测量时间的实验误差,就要使重锤下落的时间长一些,因此系统下降的加速度要小,所以小钩码的质量要比重锤的质量小很多.

(3)为了消除滑轮的摩擦阻力,可用橡皮泥粘在重锤 1 上,轻拉重锤放手后若系统做匀速运动,则表示平衡了阻力.

(4)根据牛顿第二定律有 $mg=(M+m_0+m+M)a$,又 $H=\frac{1}{2}at^2$,

解得 $g=\dfrac{2(2M+m_0+m)H}{mt^2}$.

● 解析

［答案］

(1)偶然　(2)B　(3)在重锤 1 上粘上橡皮泥,调整橡皮泥质量直至轻拉重锤 1 能观察到其匀速下落　(4)$\frac{2(2M+m_0+m)H}{mt^2}$

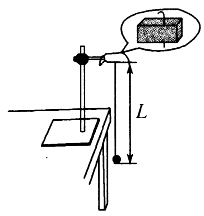
［感悟方法］

计算型实验题:计算型实验题其命题的思路是将一些计算题中出现过的情景与实验相结合,比如本题以连接体运动为背景考查重力加速度的测量,解题的关键是根据计算题解答的一般思维,弄清该实验的原理,再运用所学的知识分析得出减小误差的方法.

实战演练

1. (2012 · 天津卷)某同学用实验的方法探究影响单摆周期的因素.

(1)他组装单摆时,在摆线上端的悬点处,用一块开有狭缝的橡皮夹牢摆线,再用铁架台的铁夹将橡皮夹紧,如图甲所示. 这样做的目的是________(填字母代号).



甲

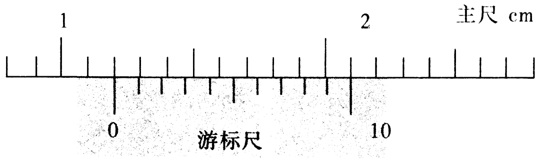
A. 保证摆动过程中摆长不变

B. 可使周期测量得更加准确

C. 需要改变摆长时便于调节

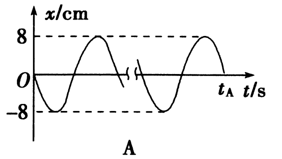
D. 保证摆球在同一竖直平面内摆动

(2)他组装好单摆后在摆球自然悬垂的情况下,用毫米刻度尺从悬点量到摆球的最低端的长度 $L=0.999\ 0$ m,再用游标卡尺测量摆球直径,结果如图乙所示,则该摆球的直径为______mm,单摆摆长为______m.

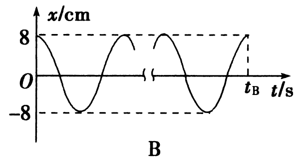


乙

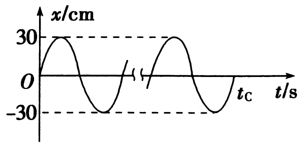
(3)下列振动图象真实地描述了对摆长约为 1 m 的单摆进行周期测量的四种操作过程,图中横坐标原点表示计时开始,A、B、C 均为 30 次全振动的图象,已知 sin 5° = 0.087,sin 15° = 0.26,这四种操作过程合乎实验要求且误差最小的是________(填字母代号).



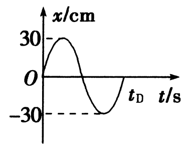
A



B



C



D

2. (2015 · 北京卷)用单摆测定重力加速度的实验装置如图 1 所示.

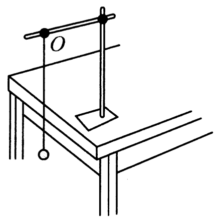


图 1

(1)组装单摆时,应在下列器材中选用________(选填选项前的字母).

A. 长度为 1 m 左右的细线

B. 长度为 30 cm 左右的细线

C. 直径为 1.8 cm 的塑料球

D. 直径为 1.8 cm 的铁球

(2)测出悬点 O 到小球球心的距离(摆长)L 及单摆完成 n 次全振动所用的时间 t,则重力加速度 g = ________(用 L、n、t 表示).

(3)下表是某同学记录的 3 组实验数据,并做了部分计算处理.

组次	1	2	3
摆长 L/cm	80.00	90.00	100.00
50 次全振动时间 t/s	90.0	95.5	100.5
振动周期 T/s	1.80	1.91	
重力加速度 g/(m · s^{-2})	9.74	9.73	

请计算出第 3 组实验中的 T = ______ s,g = ______ m/s^2.

(4)用多组实验数据作出 T^2-L 图象,也可以求出重力加速度 g. 已知三位同学作出的 T^2-L 图线的示意图如图 2 中的 a、b、c 所示,其中 a 和 b 平行,b 和 c 都过原点,图线 b 对应的 g 值最接近当地重力加速度的值. 则相对于图线 b,下列分析正确的是________(选填选项前的字母).

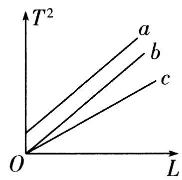


图 2

A. 出现图线 a 的原因可能是误将悬点到小球下端的距离记为摆长 L

B. 出现图线 c 的原因可能是误将 49 次全振动记为 50 次

C. 图线 c 对应的 g 值小于图线 b 对应的 g 值

(5) 某同学在家里测重力加速度. 他找到细线和铁锁,制成一个单摆,如图 3 所示,由于家里只有一根量程为 0 ~ 30 cm 的刻度尺,于是他在细线上的 A 点做了一个标记,使得悬点 O 到 A 点间的细线长度小于刻度尺量程. 保持该标记以下的细线长度不变,通过改变 O、A 间细线长度以改变摆长. 实验中,当 O、A 间细线的长度分别为 l_1、l_2 时,测得相应单摆的周期为 T_1、T_2. 由此可得重力加速度 g = ________(用 l_1、l_2、T_1、T_2 表示).

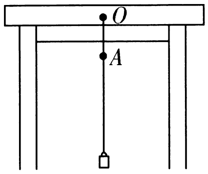
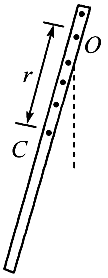
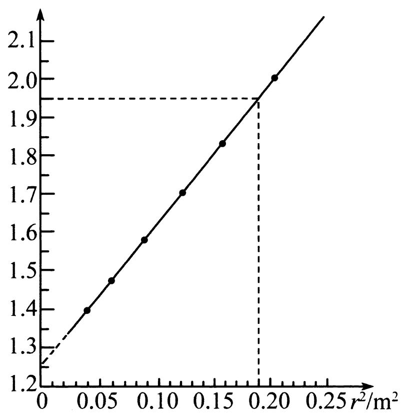


图 3

3. (2014·上海卷) 某小组在做"用单摆测定重力加速度"实验后,为进一步探究,将单摆的轻质细线改为刚性重杆. 通过查资料得知,这样做成的"复摆"做简谐运动的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{I_c+mr^2}{mgr}}$,式中 I_c 为由该摆决定的常量,m 为摆的质量,g 为重力加速度,r 为转轴到重心 C 的距离. 如图(a),实验时在杆上不同位置打上多个小孔,将其中一个小孔穿在光滑水平轴 O 上,使杆做简谐运动,测量并记录 r 和相应的运动周期 T;然后将不同位置的孔穿在轴上重复实验,实验数据见表,并测得摆的质量 m = 0.50 kg.



图(a)



图(b)

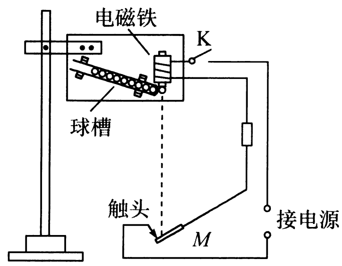
r/m	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
T/s	2.11	2.14	2.20	2.30	2.43	2.64

(1) 由实验数据得出图(b)所示的拟合直线,图中纵轴表示____________.

(2) I_c 的国际单位为____________，由拟合直线得到 I_c 的值为____________(保留到小数点后二位)；

(3) 若摆的质量测量值偏大，重力加速度 g 的测量值____________(选填"偏大""偏小"或"不变")．

4. (2013·江苏卷)某兴趣小组利用自由落体运动测定重力加速度，实验装置如图所示．倾斜的球槽中放有若干个小铁球，闭合开关 K，电磁铁吸住第 1 个小球．手动敲击弹性金属片 M，M 与触头瞬间分开，第 1 个小球开始下落，M 迅速恢复，电磁铁又吸住第 2 个小球．当第 1 个小球撞击 M 时，M 与触头分开，第 2 个小球开始下落，…，这样，就可测出多个小球下落的总时间．



(1) 在实验中，下列做法正确的有________．

A. 电路中的电源只能选用交流电源

B. 实验前应将 M 调整到电磁铁的正下方

C. 用直尺测量电磁铁下端到 M 的竖直距离作为小球下落的高度

D. 手动敲击 M 的同时按下秒表开始计时

(2) 实验测得小球下落的高度 $H=1.980$ m，10 个小球下落的总时间 $T=6.5$ s．可求出重力加速度 $g=$________$\mathrm{m/s^2}$．(结果保留两位有效数字)

(3) 在不增加实验器材的情况下，请提出减小实验误差的两个办法．

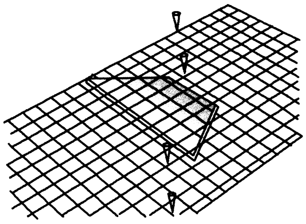
(4) 某同学考虑到电磁铁在每次断电后需要时间 Δt 磁性才消失，因此，每个小球的实际下落时间与它的测量时间相差 Δt，这导致实验误差．为此，他分别取高度 H_1 和 H_2，测量 n 个小球下落的总时间 T_1 和 T_2．他是否可以利用这两组数据消除 Δt 对实验结果的影响？请推导说明．

专题十九　测定玻璃的折射率

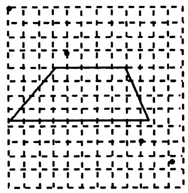
典例剖析

题型 1：利用折射定律测定平行玻璃砖的折射率

【例 1】(2012·浙江卷)在“测定玻璃的折射率”实验中，某同学经正确操作插好了 4 枚大头针，如图甲所示.



甲

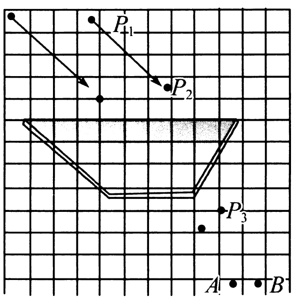


乙

(1)在图乙中画出完整的光路图；

(2)对你画出的光路图进行测量和计算，求得该玻璃砖的折射率 $n=$________(保留 3 位有效数字)；

(3)为了观测光在玻璃砖不同表面的折射现象，某同学做了两次实验，经正确操作插好了 8 枚大头针，如图丙所示. 图中 P_1 和 P_2 是同一入射光线上的 2 枚大头针，其对应出射光线上的 2 枚大头针是 P_3 和______(填“A”或“B”).

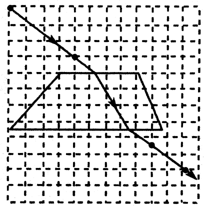


丙

● 解析

［分析］

(1)分别连接玻璃砖两侧的大头针所在的点并延长，与玻璃砖两平行边分别相交，标出传播方向，然后连接玻璃砖边界的两交点，即为光线在玻璃砖中的传播方向. 光路图如图所示.



(2)设方格纸上正方形的边长为 1，光线的入射角为 θ_1，折射角为 θ_2，则 $\sin\theta_1=\frac{5.3}{\sqrt{5.3^2+4^2}}=0.798$，$\sin\theta_2=\frac{2.2}{\sqrt{2.2^2+3.6^2}}=0.521$

所以该玻璃砖的折射率 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{0.798}{0.521}=1.53$.

(3)由题图丙可知，光线 P_1P_2 入射到玻璃砖上时，相当于光线射到了一个三棱镜上，因此出射光线将向底边偏折，所以出射光线过 P_3 和 A.

［答案］

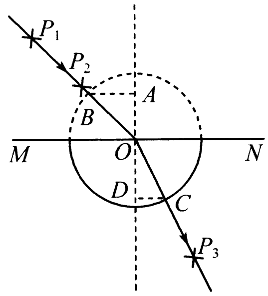
(1)见解析图　(2)1.53(说明：±0.03 范围内都可)　(3)A

［感悟方法］

1. **实验原理**：测定折射率的原理是 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$，只要获取一条通过空气与介质的光线，测出入射角与折射角，就可以测定这一介质的折射率.
2. **操作方法**：入射光线通过两枚大头针从自然光中获得，入射角已经确定；要确定折射角，只要确定这条光线射出介质的分界点，那么入射点与出射点的连线就是折射光线.

题型 2：利用折射定律测定其他形状玻璃砖折射率

【例 2】如图所示，某同学用插针法测定一半圆形玻璃砖的折射率. 在平铺的白纸上垂直纸面插大头针 P_1、P_2 确定入射光线，并让入射光线过圆心 O，在玻璃砖(图中实线部分)另一侧垂直纸面插大头针 P_3，使 P_3 挡住 P_1、P_2 的像，连接 OP_3，图中 MN 为分界线，虚线半圆与玻璃砖对称，B、C 分别是入射光线、折射光线与圆的交点，AB、CD 均垂直于法线并分别交法线于 A、D 点.



(1)设 AB 的长度为 l_1，AO 的长度为 l_2，CD 的长度为 l_3，DO 为的长度为 l_4，为较方便地表示出玻璃砖的折射率，需用刻度尺测量________，则玻璃砖的折射率可表示为________.

(2)该同学在插大头针 P_3 前不小心将玻璃砖以 O 为圆心顺时针转过一小角度，由此测得玻璃砖的折射率将________(选填“偏大”“偏小”或“不变”).

●解析

[**分析**]

(1) $\sin\theta_1=\frac{l_1}{BO}$，$\sin\theta_2=\frac{l_3}{CO}$，因此玻璃砖的折射率 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{\frac{l_1}{BO}}{\frac{l_3}{CO}}=\frac{l_1}{l_3}$，因此只需测量 l_1 和 l_3 即可.

(2)玻璃砖顺时针转过一个小角度，在处理数据时，认为 l_1 是不变的，即入射角不变，而 l_3 减小，所以测量值 $n=\frac{l_1}{l_3}$ 将偏大.

[**答案**]

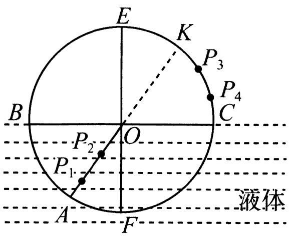
(1) l_1 和 l_3　$\frac{l_1}{l_3}$　(2)偏大

[**感悟方法**]

测定折射率实验与玻璃砖的形状无关：测定折射率的原理是 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$，只要获取一条通过空气与介质的光线，测出入射角与折射角，就可以测定这一介质的折射率. 这个方法与玻璃砖的形状无关，例如在前一题中出现的平行玻璃砖和三角形玻璃砖，本题中出现的半圆形玻璃砖.

题型3：测定液体的折射率

【例3】学校开展研究性学习，某研究小组的同学根据所学的光学知识，设计了一个测量液体折射率的仪器，如图所示. 在一圆盘上，过其圆心 O 作两条互相垂直的直径 BC、EF，在半径 OA 上，垂直盘面插下两枚大头针 P_1、P_2，并保持 P_1、P_2 位置不变，每次测量时让圆盘的下半部分竖直进入液体中，而且总使得液面与直径 BC 相平，EF 作为界面的法线，在图中右上方区域观察 P_1、P_2 的像，并在圆周上插上大头针 P_3，使 P_3 正好挡住 P_1、P_2 的像，同学们通过计算，预先在圆周 EC 部分刻好了折射率的值，这样只要根据 P_3 所插的位置，就可直接读出液体折射率的值，则：



(1)若 $\angle AOF = 30°$，OP_3 与 OC 的夹角为 $30°$，则 P_3 处所对应的折射率的值为________.

(2)图中 P_3、P_4 两位置哪一处所对应的折射率的值大？

答：________.

(3)作 AO 的延长线交圆周于 K，K 处所对应的折射率值应为________.

● 解析

[分析]

(1)根据折射定律 $n = \dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$，题中 $\theta_1 = 60°$，$\theta_2 = \angle AOF = 30°$，

所以 $n = \dfrac{\sin 60°}{\sin 30°} = \sqrt{3}$.

(2)题图中 P_4 对应的折射角大于 P_3 所对应的折射角，所以 P_4 对应的折射率的值大.

(3)因 A、O、K 在一条直线上，入射角等于折射角，所以 K 处对应的折射率的值应为 1.

[答案]

(1)$\sqrt{3}$ (2)P_4 处 (3)1

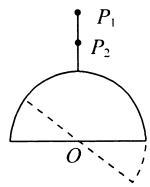
●解析

[**感悟方法**]

本题要设计的是一个“液体折射率测定仪”，两枚大头针 P_1、P_2 确定的是液体中的一条光线，在圆周上插上大头针 P_3，使 P_3 正好挡住 P_1、P_2 的像，确定的是在空气中的一条折射光线.

题型4：利用全反射测定圆形玻璃砖的折射率

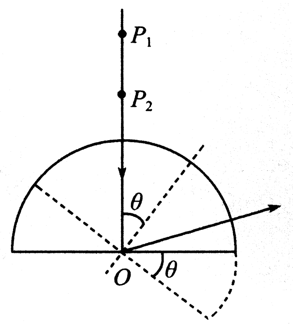
【例4】(2011·天津卷)某同学用大头针、三角板、量角器等器材测半圆形玻璃砖的折射率. 开始玻璃砖的位置如图中实线所示，使大头针 P_1、P_2 与圆心 O 在同一直线上，该直线垂直于玻璃砖的直径边，然后使玻璃砖绕圆心 O 缓慢转动，同时在玻璃砖的直径边一侧观察 P_1、P_2 的像，且 P_2 的像挡住 P_1 的像. 如此观察，当玻璃砖转到图中虚线位置时，上述现象恰好消失. 此时只须测量出____________________，即可计算出玻璃砖的折射率，请用你的测量量表示出折射率 $n=$________.



●解析

[**分析**]

由题意可知，当玻璃砖转过某一角度 θ 时，刚好发生全反射，在直径边一侧观察不到 P_1、P_2 的像，作出如图所示的光路图可知，当转过角度 θ 时有 $n=\dfrac{1}{\sin\theta}$.



[**答案**]

玻璃砖直径边绕 O 点转过的角度 θ　$\dfrac{1}{\sin\theta}$

[**感悟方法**]

实验原理：利用全反射原理测定折射率的原理是 $n=\dfrac{1}{\sin C}$.

实战演练

1. (2012・重庆卷)如图1所示为光学实验用的长方体玻璃砖,它的________面不能用手直接接触.

在用插针法测定玻璃砖折射率的实验中,两位同学绘出的玻璃砖和三个针孔 a、b、c 的位置相同,且插在 c 位置的针正好挡住插在 a、b 位置的针的像,但最后一个针孔的位置不同,分别为 d、e 两点,如图2所示.计算折射率时,用________(填“d”或“e”)点得到的值较小,用________(填“d”或“e”)点得到的值误差较小.

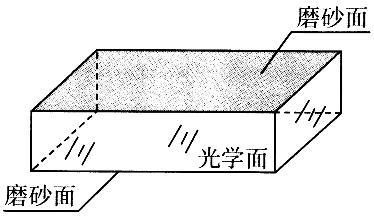


图1

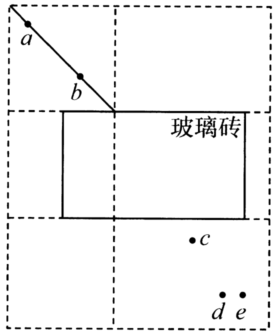
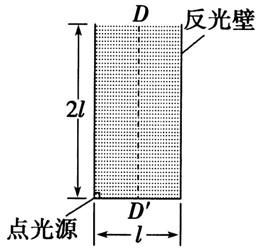


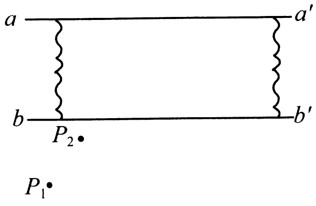
图2

2. (2017・全国卷Ⅱ)一直桶状容器的高为 $2l$,底面是边长为 l 的正方形;容器内装满某种透明液体,过容器中心轴 DD'、垂直于左右两侧面的剖面图如图所示.容器右侧内壁涂有反光材料,其他内壁涂有吸光材料.在剖面的左下角处有一点光源,已知由液体上表面的 D 点射出的两束光线相互垂直,求该液体的折射率.



3. (2006・全国卷Ⅱ)一块玻璃砖有两个相互平行的表面,其中一个表面是镀银的(光线不能通过此表面).现要测定此玻璃砖的折射率.给定的器材还有:白纸、铅笔、大头针4枚(P_1、P_2、P_3、P_4)、带有刻度的直角三角板、量角器.

实验时,先将玻璃砖放到白纸上,使上述两个相互平行的表面与纸面垂直.在纸上画出直线 aa' 和 bb',aa' 表示镀银的玻璃表面,bb' 表示另一表面,如图所示.然后,在白纸上竖直



插上两枚大头针 P_1、P_2(位置如图). 用 P_1、P_2 的连线表示入射光线.

(1)为了测量折射率,应如何正确使用大头针 P_3、P_4?

____

____

试在题图中标出 P_3、P_4 的位置.

(2)然后,移去玻璃砖与大头针. 试在题图中通过作图的方法标出光线从空气到玻璃中的入射角 θ_1 与折射角 θ_2. 简要写出作图步骤.

____

____

____

(3)写出用表 θ_1、θ_2 表示的折射率公式 $n=$_____.

4.(2017·11 月·浙江)在"测定玻璃的折射率"实验时:

(1)下列做法正确的是________;

A. 入射角越大,误差越小

B. 在白纸上放好玻璃砖后,用铅笔贴着光学面画出界面

C. 实验时既可用量角器,也可用圆规和直尺等工具进行测量

D. 判断像与针是否在同一直线上时,应该观察大头针的头部

(2)小明同学在插针时玻璃砖的位置如图 1 所示. 根据插针与纸上已画的界面确定入射点与出射点,依据上述操作所测得的折射率________(填"偏大""偏小"或"不变");

(3)小明同学经正确操作后,在纸上留下四枚大头针的位置 P_1、P_2、P_3 和 P_4,AB 和 CD 是描出的玻璃砖的两个边,如图 2 所示. 请画出光路图.

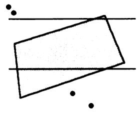


图1

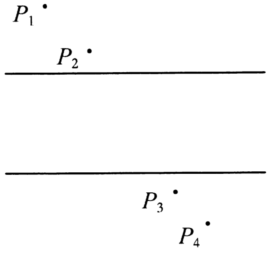


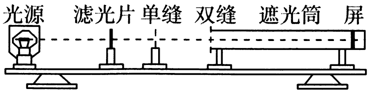
图2

专题二十　用双缝干涉测光的波长

典例剖析

题型1：测普通光源发光的波长

【例1】(2012·福建卷)在“用双缝干涉测光的波长”实验中(实验装置如图甲所示)：



甲

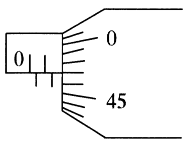
(1)下列说法哪一个是错误的________.(填选项前的字母)

A. 调节光源高度使光束沿遮光筒轴线照在屏中心时，应放上单缝和双缝

B. 测量某条干涉亮纹位置时，应使测微目镜分划板中心刻线与该亮纹的中心对齐

C. 为了减小测量误差，可用测微目镜测出 n 条亮纹间的距离 a，求出相邻两条亮纹间距 $\Delta x=\dfrac{a}{n-1}$

(2)测量某亮纹位置时，手轮上的示数如图乙所示，其示数为________mm.



乙

•解析

[分析]

(1)放上单缝和双缝后，由于发生干涉现象没法调节光源的高度，故A项错误.

(2)按读数规则，读出的示数为：1.5 mm + 47.0 × 0.01 mm = 1.970 mm.

[答案]

(1)A　(2)1.970

●解析

［**感悟方法**］

1. **普通光发生干涉的条件**：用普通光作为光源做干涉实验，要先获取相干光源，必须采用“一分为二”的方法，单缝装置在此就是起到这方面的作用.

2. **关于条纹间距的测量**：要特别注意的是，在测量条纹间距时，测微目镜分划板中心刻线其实一直都是目镜的正中心. 另外，要注意“点段”问题，即 n 条亮纹间的间隔是 $n-1$ 个.

题型2： 测定激光光波的波长

【例2】(2010·江苏卷)(1)激光具有相干性好，平行度好、亮度高等特点，在科学技术和日常生活中应用广泛. 下面关于激光的叙述正确的是________.

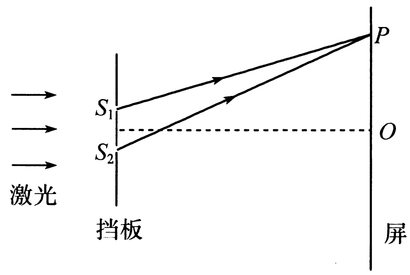
A. 激光是纵波

B. 频率相同的激光在不同介质中的波长相同

C. 两束频率不同的激光能产生干涉现象

D. 利用激光平行度好的特点可以测量月球到地球的距离

(2)如图所示，在杨氏双缝干涉实验中，激光的波长为 5.30×10^{-7} m，屏上 P 点距双缝 S_1 和 S_2 的路程差为 7.95×10^{-7} m. 则在这里出现的应是______(选填“明条纹”或“暗条纹”). 现改用波长为 6.30×10^{-7} m 的激光进行上述实验，保持其他条件不变，则屏上的条纹间距将__________(选填“变宽”“变窄”或“不变”).



● 解析

[**分析**]

(1) 光是横波，所以 A 错误；在不同介质中光的波长不同，B 错误；干涉的条件是频率相同，C 错误；利用激光的平行度好，可以测量月球到地球的距离，D 正确.

(2) $n=\dfrac{\Delta S}{\frac{\lambda}{2}}=\dfrac{7.95\times10^{-7}}{\frac{1}{2}\times5.3\times10^{-7}}=3$，波程差是半波长的奇数倍，是暗条纹.

$\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，$\lambda$ 变大，Δx 变大，则条纹间距变宽.

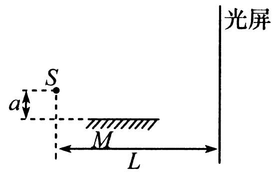
[**答案**] (1) D　(2) 暗条纹　变宽

[**感悟方法**]

激光与普通光不同，激光的单色性好，即一束激光的频率一致，可以作为相干光源，不必采用单缝，直接照射双缝，发生干涉现象.

题型 3：用洛埃镜实验测定光的波长

【例 3】(2005 · 江苏卷) 1801 年，托马斯 · 杨用双缝干涉实验研究了光波的性质，1834 年，洛埃利用平面镜同样得到了杨氏干涉的结果（称洛埃镜实验）.

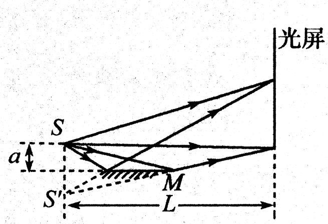


(1) 洛埃镜实验的基本装置如图所示，S 为单色光源，M 为平面镜，试用平面镜成像作图法画出 S 经平面镜反射后的光与直线发出的光在光屏上相交的区域.

(2) 设光源 S 到平面镜的垂直距离和到光屏的垂直距离分别为 a 和 L，光的波长为 λ，在光屏上形成干涉条纹，写出相邻两条亮条纹（或暗条纹）间距离 Δx 的表达式.

● 解析

[**分析**]



(1) 如图所示

(2) $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，因为 $d=2a$，故 $\Delta x=\dfrac{L}{2a}\lambda$.

[**答案**]

(1) 如解析图所示　(2) $\Delta x=\dfrac{L}{2a}\lambda$

●解析

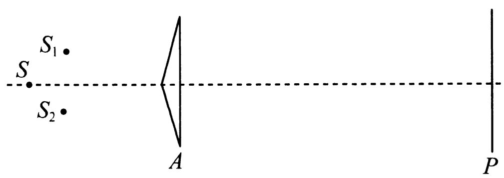
[**感悟方法**]

类比迁移:本题考查的是洛埃镜实验测定光的波长,对同学们来说或许比较陌生,但只要作出光路图,并将图景与“双缝干涉实验”相类比,问题容易求解. 这个问题告诉我们,遇到新题不可怕,只要作“异中求同”的思考,往往会找到解决问题的妙招.

题型 4　用双棱镜干涉实验测光的波长

【例 4】(2008·四川卷)如图所示为“双棱镜干涉”实验装置,其中 S 为单色光源,A 为一个顶角略小于 180°的等腰三角形棱镜,P 为光屏. S 位于棱镜对称轴上,屏与棱镜底边平行. 调节光路,可在屏上观察到干涉条纹. 这是由于光源 S 发出的光经棱镜作用后,相当于在没有棱镜时,两个分别位于图中 S_1 和 S_2 位置的相干波源所发出的光的叠加. (S_1 和 S_2 的连线与棱镜底边平行.)

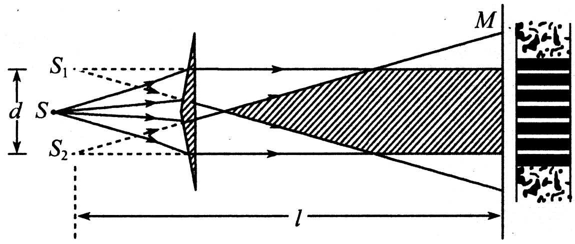
已知 S_1 和 S_2 的位置可由其它实验方法确定,类比“双缝干涉测波长”的实验,可以推测出若要利用“双棱镜干涉”测量光源 S 发出的单色光的波长时,需要测量的物理量是__________,__________和__________.



●解析

[**分析**]

光源 S 发出的光束照射到双棱镜上,则光线经过双棱镜折射后,形成两束犹如从虚光源 S_1 和 S_2 发出的相干光束. 它们在空间传播时有一部分重叠而发生干涉(画有双斜线的区域),结果在屏幕上显现干涉条纹,如图所示.



● 解析

类比“双缝干涉测波长”的实验，$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，可得 $\lambda=\frac{d}{l}\cdot\Delta x$

式中 d 为 S_1S_2 间的距离、l 为 S_1S_2 到屏幕的距离，Δx 为任意两条明(暗)条纹之间距离.

[**答案**]

S_1 与 S_2 间的距离　S_1(或 S_2)与光屏间的距离　干涉条纹间距

[**感悟方法**]

类比迁移：本题是双棱镜干涉测定光的波长，对同学们来说或许比较陌生，但只要作出光路图，并将图景与“双缝干涉实验”相类比，问题容易求解. 这个问题再一次告诉我们，遇到新题不可怕，只要作“异中求同”的思考，往往会找到解决问题的妙招.

实战演练

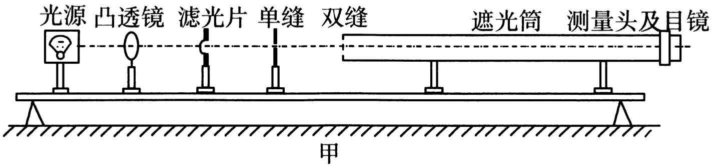
1. (2017 · **全国卷Ⅱ**)在双缝干涉实验中，用绿色激光照射在双缝上，在缝后的屏幕上显示出干涉图样. 若要增大干涉图样中两相邻亮条纹的间距，可选用的方法是________.

A. 改用红色激光　　B. 改用蓝色激光

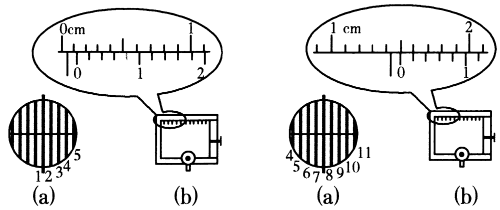
C. 减小双缝间距　　D. 将屏幕向远离双缝的位置移动

E. 将光源向远离双缝的位置移动

2. (2009 · **北京卷**)在“用双缝干涉测光的波长”实验中，将双缝干涉实验仪按要求安装在光具座上(如图甲)，并选用缝间距 $d=0.2$ mm 的双缝屏. 从仪器注明的规格可知，像屏与双缝屏间的距离 $l=700$ mm. 然后，接通电源使光源正常工作.



甲

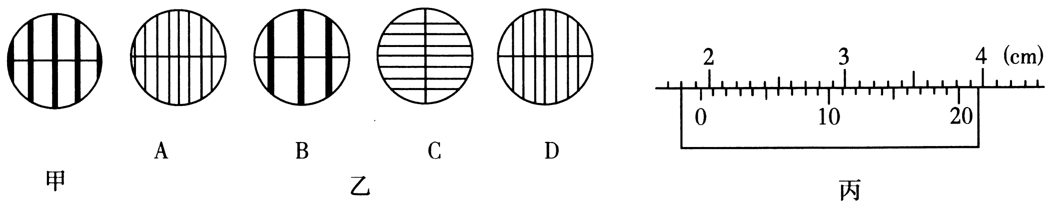


乙　　丙

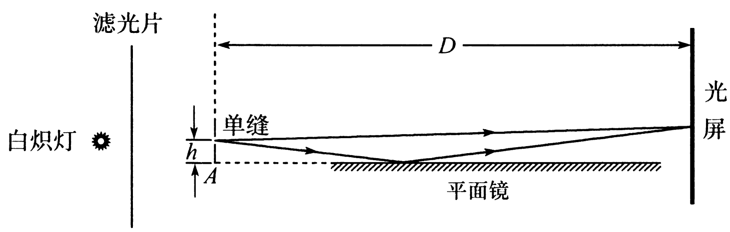
(1)已知测量头主尺的最小刻度是毫米,副尺上有50分度.某同学调整手轮后,从测量头的目镜看去,第1次映入眼帘的干涉条纹如图乙(a)所示,图中的数字是该同学给各暗纹的编号,此时图乙(b)中游标尺上的读数 $x_1=1.16$ mm;接着再转动手轮,映入眼帘的干涉条纹如图丙(a)所示,此时图丙(b)中游标尺上的读数 $x_2=$______mm;

(2)利用上述测量结果,经计算可得两个相邻亮纹(或暗纹)间的距离 $\Delta x=$________mm;这种色光的波长 $\lambda=$________nm.

3. (2016·4月·浙江)在"用双缝干涉测量光的波长"实验中,选用红色滤光片和间距为0.20 mm的双缝,双缝与屏的距离为600 mm.某同学正确操作后,在目镜中看到如图甲所示的干涉条纹.换成紫色滤光片正确操作后,使测量头分划板刻线与第 k 级暗条纹中心对齐,在目镜中观测到的是图乙中的________(填字母),此时测量头的读数为25.70 mm.沿同一方向继续移动测量头使分划板刻线与第 $k+5$ 级暗条纹中心对齐,此时测量头标尺如图丙所示,其读数是________mm,紫光的波长等于________nm.



4. (2018·4月·浙江)小明在做"用双缝干涉测量光的波长"实验时,尝试用单缝和平面镜做类似实验.单缝和平面镜的放置如图所示,白炽灯发出的光经滤光片成为波长为 λ 的单色光照射单缝,能在光屏上观察到明暗相间的干涉条纹.小明测得单缝与镜面延长线的距离为 h,与光屏的距离为 D,则条纹间距 $\Delta x=$________,随后小明撤去平面镜,在单缝下方 A 处放置同样的另一单缝,形成双缝结构,则在光屏上________(填"能"或"不能")观察到干涉条纹.



答案与解析

专题一　研究匀变速直线运动

[实战演练]

1. **答案**:(1)$v_A+\frac{a\Delta t}{2}$　(2)52.1　16.3

解析:(1)挡光片完全经过光电门时的速度 $v=v_A+a\Delta t$,又因为 $\bar{v}=\frac{v_A+v}{2}$,解得

$\bar{v}=v_A+\frac{a\Delta t}{2}$.

(2)根据图象可知 $v_A=52.1$ cm/s,求得 $a=16.3$ cm/s^2.

2. **答案**:(1)DCBA　(2)0.1　(3)$\frac{s_4+s_5}{2T}$　(4)$\frac{(s_4+s_5+s_6)-(s_1+s_2+s_3)}{9T^2}$

解析:(1)实验步骤应是先安装仪器,做好实验前的准备工作,开始实验,然后处理数据,因此实验步骤是DCBA.

(2)时间 $T=nT_0=5\times0.02$ s$=0.1$ s(n 为相邻两个计数的间隔数).

(3)根据在匀变速直线运动中中间时刻的瞬时速度等于这段时间内的平均速度来计算.

(4)若想减小实验误差,尽可能多的用到实验数据,因此可以采用"两段法",取 $s'_1=s_1+s_2+s_3$,$s'_2=s_4+s_5+s_6$,则:$T'=3T$ 就可用 $\Delta s'=aT'^2$ 求 a.

3. **答案**:(1)6　不明显,可忽略　(2)h　M 和 h,且 $M\cdot h$ 不变　(3)滑动摩擦力　arcsin 0.6　0.3

解析:(1)由 v-t 图象知滑块 A 匀减速上滑、匀加速下滑,其加速度大小分别为 $a_{上滑}=\frac{|\Delta v_1|}{\Delta t_1}=\frac{|0.0-3.0|}{0.49}=6.1$(m/s^2)、$a_{下滑}=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{3.0-0.0}{1.0-0.49}=5.9$(m/s^2).取一位有效数字得 $a_{上滑}=a_{下滑}=6$(m/s^2).设导轨倾角为 θ,滑块 A 与导轨间的动摩擦因数为 μ,依据牛顿第二定律可得物体沿斜面上滑、下滑的加速度分别为 $a_{上滑}=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$、$a_{下滑}=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$.因 $a_{上滑}\approx a_{下滑}$,所以摩擦力作用不明显.

(2)滑块所受合外力 $F_{合}=mg\sin\theta$,所以 m 一定时,可通过调节导轨倾角或另一端的高度 h 达到改变合外力的目的.又因 $\sin\theta=\frac{h}{l}$,所以 $F_{合}=\frac{mgh}{l}$,为验证(合)力一定时,加速度与质量的反比关系,在改变滑块质量 m 后应调节导轨高度 h,并且要使质量与高度之积 mh 保持不变,以控制(合)力大小不变.

(3)若滑板理想光滑,则全过程加速度相同,滑块做类竖直上抛运动,位移－时间图象应是对称的抛物线.若滑块受到滑动摩擦力作用,则上滑与下滑的加速度大小不同,必然导致上、下滑动过程的位移图线出现不对称现象.由图象知:滑块上滑、下滑位移大小均为 $s=0.64$ m,时间分别为 $t_1=0.4$ s、$t_2=0.6$ s.

对上滑过程，由 $\bar{v}_1=\frac{1}{2}v_0=\frac{s}{t_1}$、$a_1=\frac{v_0}{t_1}=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$，联立两式得 $\sin\theta+\mu\cos\theta=0.8$…①

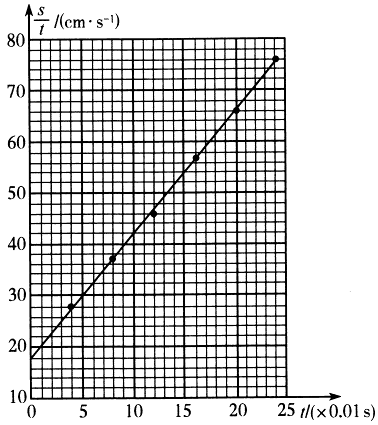
对下滑过程，由 $\bar{v}_2=\frac{1}{2}v_t=\frac{s}{t_2}$、$a_2=\frac{v_t}{t_2}=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$，联立两式得

$\sin\theta-\mu\cos\theta=0.36$…②

联立①②式解得 $\sin\theta=0.58$；$\mu=0.27$. 按题目要求结果取一位有效数字得 $\sin\theta=0.6$，$\theta=\arcsin 0.6$；$\mu=0.3$.

4. **答案**：(1)A　C　(2)2.98　13.18　(3)如解析图所示　(4)0.18　4.83

解析：(1)打点计时器用的是交流电源，A 是必须使用的；刻度尺用来测量纸带上计数点之间的距离，C 是必须使用的.



(2)按读数规则应读到毫米的下一位，即 $s_2=2.98$ cm，$s_5=13.18$ cm.

(3)打点周期 $T=0.02$ s，$v_2=\frac{s_2}{t_2}=\frac{s_2}{4T}=\frac{2.98}{4\times0.02}$ cm/s $=37.3$ cm/s

$v_5=\frac{s_5}{t_5}=\frac{s_5}{10T}=\frac{13.18}{10\times0.02}$ cm/s $=65.9$ cm/s，

所以与 2、5 两个计数点对应的坐标分别为$(8\times10^{-2},37.3)$、$(20\times10^{-2},65.9)$.

因为$\frac{s_1}{t_1}$、$\frac{s_2}{t_2}$、$\frac{s_3}{t_3}$…、$\frac{s_6}{t_6}$分别表示的是计数点"0"右边连续 6 个"记录点"对应的瞬时速度，并且小车沿平板做匀加速直线运动，所以图线应为直线.

(4)由图知打 0 点即 $t=0$ 时小车的速度 $v_0=0.18$ m/s；

它在斜面上运动的加速度 $a=\frac{v_t-v_0}{t}=\frac{0.76-0.18}{6\times0.02}$ m/s^2 $=4.83$ m/s^2.

注：由速度图象求加速度大小时应尽可能选用图线上相距较远的两个点(不一定用记录数据点)，本题选用计数点 0 和计数点 6. 确定速度变化所用时间时应特别留心，跟计数点"0"右边连续 6 个"记录点"的瞬时速度对应的时间并不是图中每个点所对应的时间，而是图中每个点所对应时间的一半.

专题二　探究弹力和弹簧伸长的关系

[**实战演练**]

1. **答案**：D

解析：本题意在考查学生的识图、用图能力. 题图中两条线都不是直线，故 Δl 与 F 不成正比，A 错误；比较两条曲线可知，在拉力相等时，减挂钩码时橡皮筋的伸长量比增挂钩码时的大，B、C 错误，故 D 正确.

2. **答案**：(1)竖直　(2)静止　L_3　1 mm　(3)L_x　(4)4.9　10

解析：(1)为保证弹簧的形变只由砝码和砝码盘的重力引起，所以弹簧轴线和刻度尺均应在竖直方向.

(2)弹簧静止时,记录原长 L_0;表中的数据 L_3 与其他数据有效位数不同,所以数据 L_3 不规范,标准数据应读至 cm 位的后两位,最后一位应为估读值,精确至 mm 位,所以刻度尺的最小分度为 1 mm.

(3)由题图知所挂砝码质量为 0 时,x 为 0,所以 $x = L - L_x$.

(4)由胡克定律 $F = k\Delta x$ 知,$mg = k(L - L_x)$,即 $mg = kx$,所以图线斜率即为劲度系数

$$k = \frac{\Delta mg}{\Delta x} = \frac{(60-10)\times 10^{-3}\times 9.8}{(12-2)\times 10^{-2}}\ \text{N/m} = 4.9\ \text{N/m},$$

同理砝码盘质量

$$m = \frac{k(L_x - L_0)}{g} = \frac{4.9\times(27.35-25.35)\times 10^{-2}}{9.8}\ \text{kg} = 0.01\ \text{kg} = 10\ \text{g}.$$

3. **答案**:(1)6.93 (2)A (3)钩码重力超过弹簧弹力范围

解析:(1)由图乙知,读数为 14.66 cm,所以弹簧伸长 $\Delta l = (14.66 - 7.73)$ cm $= 6.93$ cm.

(2)若随意增减砝码,会作图不方便,有可能会超出弹簧弹性形变范围,所以应逐一增挂钩码,选项 A 正确.

(3)由图丙知 AB 段伸长量与弹力不成线性关系,是因为钩码重力超过弹簧弹力范围.

4. **答案**:(1)16.00(15.95 ~ 16.05 均可,有效数字位数正确)

(2)12.50(12.20 ~ 12.80 均可) 能

解析:(1)刻度尺最小分度为 1 mm,读数时需估读到毫米下一位,故指针的示数为 16.00 cm.

(2)表中对 L_A 的测量有四组数据,应采用逐差法计算增加一个钩码时弹簧Ⅰ增加的长度.

$$L_0 = \frac{L_{A3} + L_{A4} - L_{A1} - L_{A2}}{4} = 0.04\ \text{m}$$

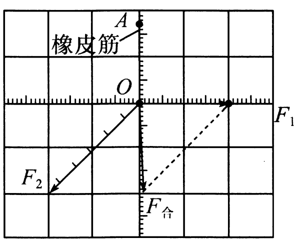
故 $k = \frac{mg}{L_0} = 12.50$ N/m

通过计算 $L_B - L_A$ 可得出 A、B 两指针间的长度,进而计算出增加一个钩码时弹簧Ⅱ增加的长度,从而计算出其劲度系数.

专题三　验证力的平行四边形定则

[实战演练]

1. **答案**:(1)4.0 (2)①见解析图 ②4.0 0.05



解析:(1)由题图(b)可知,F 的大小为 4.0 N.

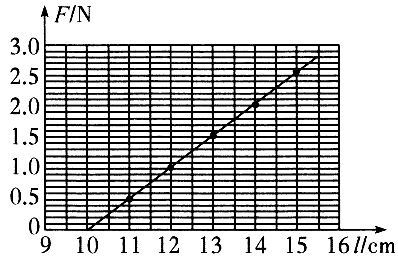
(2)①画出力 F_1、F_2 的图示,如图所示.

②用刻度尺量出 $F_合$ 的线段长约为 20 mm,所以 $F_合$ 大小为 4.0 N,$F_合$ 与拉力 F 的夹角的正切值为 $\tan\alpha = 0.05$.

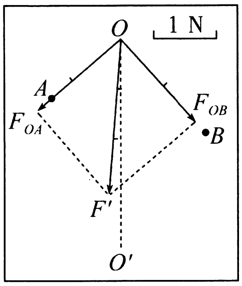
2. **答案**:(1)见解析图甲　10.0(9.8、9.9、10.1 均正确)　(2)1.80(1.70 ~ 1.90 均正确)　(3)见解析图乙

(4)$F_{OO'}$

解析:(1)作出 F-l 图象,如图甲所示,求得直线的截距即为 l_0,可得 $l_0 = 10.0$ cm.



甲



乙

(2)可计算橡皮筋的劲度系数

$k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{2.5}{0.05}$ N/m = 50 N/m

若 $OA = 6.00$ cm,$OB = 7.60$ cm,则橡皮筋的弹力为

$F = k\Delta x = 50 \times (6.00 + 7.60 - 10.00) \times 10^{-2}$ N = 1.80 N

则此时 $F_{OA} = F = 1.80$ N.

(3)$F_{OB} = F_{OA} = 1.80$ N,两力的合力 F' 如图乙所示.

(4)$F_{OO'}$ 的作用效果和 F_{OA}、F_{OB} 两个力的作用效果相同,F' 是 F_{OA}、F_{OB} 两个力的合力,所以通过比较 F' 和 $F_{OO'}$ 的大小和方向,可得出实验结论.

3. **答案**:(1)如解析图 1 所示($F_{合} = 4.6 \sim 4.9$ N 都算对)　(2)$F_a = F_b$　(3)BD　(4)橡皮筋拉伸不宜过长;选用新橡皮筋.(或:拉力不宜过大;选用弹性好的橡皮筋;换用弹性好的弹簧.)

解析:(1)用力的图示法根据平行四边形定则作出合力并量出其大小.

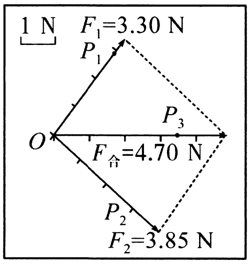


图 1

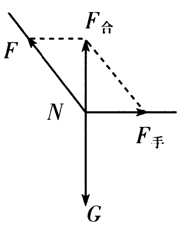


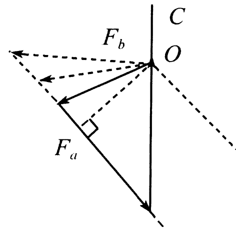
图 2

(2)画受力分析图如解析图 2 所示,橡皮筋的拉力 F 与手的拉力 $F_{手}$ 的合力 $F_{合}$ 总与重力 G 平衡,故 $F\cos\theta = G$,两次实验中的 θ 角相同,故 $F_a = F_b$.

(3)根据两次描出的不同轨迹说明橡皮筋的长度与受到的拉力不成正比. 两次受到的拉力相同时,橡皮筋第 2 次的长度较长,A 错误,B 正确;两次被拉伸到相同长度时,橡皮筋第 2 次受到的拉力较小,C 错误;根据轨迹越向右相差越多,说明两次受到的拉力相同时,拉力越大,橡皮筋两次的长度之差越大,D 正确.

4. **答案**:(1)3.00(3.00~3.02)　4.00(3.90~4.10)　(2)变大　变大

解析:(1)弹簧秤的读数应注意估读,由题图乙可知弹簧秤 a 的读数为 3.00 N. 由题意知弹簧 OC 的弹力大小 $F_{OC}=kx=5$ N,即弹簧秤 a、b 的合力大小应当等于 5 N,因为它们之间的夹角为 90°,当 a 的读数为 3.00 N 时,b 的读数理论值应为 4.00 N.



(2)对 O 点受力分析,作力的矢量三角形如图所示,保证 O 点不动的前提下,弹簧 OC 的拉力为定值,在弹簧秤 a、b 夹角大于 90°的前提条件下,若让弹簧秤 b 与 OC 夹角减小,由解析图可知弹簧秤 a 的拉力应该变大,弹簧秤 b 的拉力也变大.

专题四　验证牛顿运动定律

[实战演练]

1. **答案**:(1)AD　(2)远小于　(3)小于　大于

解析:(1)在探究加速度与力、质量的关系实验中,平衡摩擦力时木块不通过定滑轮挂砝码桶,而要挂纸带,并且改变质量时不需要重新平衡摩擦力;在实验时应先接通电源再放开木块,故选项 A、D 均正确,B、C 均错误.

(2)选木块和木块上砝码(设总质量为 M)、砝码桶及桶内的砝码(设总质量为 m)为研究对象,则

$mg=(M+m)a$

选砝码桶及桶内的砝码为研究对象,则 $mg-F_T=ma$

联立解得:$F_T=mg-\dfrac{m^2g}{M+m}$

要使 $F_T=mg$,需要 $\dfrac{m^2g}{M+m}\to 0$,即 $M\gg m$.

(3)对质量为 m 的木块由牛顿第二定律得:$F-\mu mg=ma$

即 $a=\dfrac{1}{m}F-\mu g$

上式与题图结合可知:$\dfrac{1}{m_{甲}}>\dfrac{1}{m_{乙}}$,$\mu_{甲}g>\mu_{乙}g$

即:$m_{甲}<m_{乙}$,$\mu_{甲}>\mu_{乙}$.

2. **答案**:(1)①等间距　⑥线性　(2)①远小于小车和砝码的总质量(填“远小于小车的质量”同样给分)

②$\dfrac{s_3-s_1}{50\Delta t^2}$　24.2(答案范围在 23.9~24.5 之间均给分)　47.3(答案范围在 47.0~47.6 之间均给分)

1.16(答案范围在 1.13~1.19 之间均给分)　③$\dfrac{1}{k}$　$\dfrac{b}{k}$

解析:(1)平衡小车阻力后,小车可做匀速直线运动,所以打出的点是等间距的;设小车质量为 M,由于加速度与小车和砝码的总质量成反比,则有 $a=\frac{k}{M+m}$(k 为常数),变形得$\frac{1}{a}=\frac{M}{k}+\frac{m}{k}$,由于 k、M 不变,故$\frac{1}{a}$与 m 为线性关系.

(2)①根据牛顿第二定律,对小吊盘和盘中物块有:

$m_0g-F=m_0a$

对小车有:$F=M'a$

所以 $F=\frac{M'}{M'+m_0}\cdot m_0g=\frac{1}{1+\frac{m_0}{M'}}\cdot m_0g$.

当 $m_0 \ll M'$时 $F\approx m_0g$,所以要保证小车和车中砝码所受的拉力近似不变,小吊盘和盘中物块的质量之和 m_0 要远小于小车和车中砝码的总质量 M'.

②由运动学推论 $s_m-s_n=(m-n)aT^2$ 可得 $s_3-s_1=2aT^2$

本题中 $T=5\Delta t$,所以 $a=\frac{s_3-s_1}{2(5\Delta t)^2}=\frac{s_3-s_1}{50\Delta t^2}$

由刻度尺可读出:$s_1=36.6\ \text{mm}-12.4\ \text{mm}=24.2\ \text{mm}$,

$s_3=120.0\ \text{mm}-72.7\ \text{mm}=47.3\ \text{mm}$

代入上述公式求得 $a=1.16\ \text{m/s}^2$.

③设小车质量为 M,拉力为 F,则有 $F=(M+m)a$.

$\frac{1}{a}=\frac{M+m}{F}=\frac{M}{F}+\frac{1}{F}m$,由题可知 $k=\frac{1}{F}$,$b=\frac{M}{F}$

故 $F=\frac{1}{k}$,$M=bF=\frac{b}{k}$.

3. **答案**:(1)$\frac{2d}{t^2}$　多次测量,求平均值　(2)c　(3)bc

解析:(1)由 $d=\frac{1}{2}at^2$ 可得 $a=\frac{2d}{t^2}$;减小偶然误差的主要方法是多次测量,求平均值.

(2)由题意可知,F_1 是水瓶的重力,设绳中拉力为 F_T,对木板有,$a=\frac{F_T-F_0}{M_{板}}$,在 $M_{板}\gg m_{水}$ 时,$F_T\approx F_1$,$a=\frac{F_1-F_0}{M}$,排除 a、b 选项;逐渐增加水的质量,将不再满足 $F_T\approx F_1$,而是 $F_T<F_1$,将导致小车加速度实际值较理论值偏小,故选项 c 正确.

(3)改变质量且可以连续改变.

4. **答案**:(1)小车的总质量,小车所受合外力　(2)①在质量不变的条件下,加速度与合外力成正比　②C

解析:(1)因为要探索"加速度和力的关系"所以应保持小车的总质量不变,钩码所受的重力作为小车所受合外力.

(2)①由于 OA 段 a-F 关系为一条倾斜的直线,所以在质量不变的条件下,加速度与合外力成正比.

②由实验原理:$mg=Ma$ 得 $a=\frac{mg}{M}=\frac{F}{M}$,而实际上 $a'=\frac{mg}{(M+m)}$,可见 AB 段明显偏离直线是由于没有满足 $M\gg m$ 造成的.

专题五　研究平抛运动

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)0.60　1.60　0.60　(2)0.20　3.0　(3)8.2

解析:(1)由题图2可知 P_1、P_2 两点在竖直方向的间隔为6格,P_1、P_3 两点在竖直方向的间隔为16格所以有 $|y_1-y_2|=0.60\ \text{m}$,$|y_1-y_3|=1.60\ \text{m}$,P_1、P_2 两点在水平方向的距离为6个格,则有 $|x_1-x_2|=0.60\ \text{m}$.

(2)由水平方向的运动特点可知 P_1 到 P_2 与 P_2 到 P_3 的时间相等,根据 $\Delta x=at^2$,解得时间约为0.2 s,则有 $v_0=\frac{x}{t}=\frac{0.60}{0.2}\ \text{m/s}=3.0\ \text{m/s}$.

(3)设抛出点为势能零点,则开始下滑时的机械能为 $E_1=mgh$,抛出时的机械能为 $E_2=\frac{1}{2}mv_0^2$,则

$\frac{E_1-E_2}{E_1}\times100\%=0.082\times100\%=8.2\%$.

2. **答案**:(1)B　BD　(2)C　(3)B

解析:(1)小球做平抛运动轨迹出发点应该在斜槽末端球的上端处,所以选项B正确.实验过程中,斜槽不一定光滑,只要能够保证小球从同一位置静止释放,即使轨道粗糙,摩擦力做功是相同的,小球离开斜槽末端的速度就是一样的,所以A错误;记录点适当多一些,能够保证所描曲线更接近小球的真实轨迹,选项B正确,选项C错误;y 轴必须是竖直方向,即用重垂线确定,即选项D正确.

(2)由题图可知斜槽末端不水平,才会造成小球做斜抛运动,选项C正确.

(3)在瓶中插入直吸管的目的就是为了保证水流流速不因瓶内水面下降而减小,能保证液面下降到直吸管上端处的一段时间内,能够得到稳定的细水柱,选项B正确.

3. **答案**:(1)保证悬线烧断时小球的速度方向为水平方向　(2)$s\sqrt{\frac{g}{2(h-L)}}$　(3)0.52　1.5

解析:(1)电热丝 P 点必须放在悬点正下方的理由是保证悬线烧断时小球的速度方向为水平方向,之后小球沿水平方向抛出做平抛运动.

(2)由 $h-L=\frac{1}{2}gt^2$;$s=v_0t$ 得 $v_0=s\sqrt{\frac{g}{2(h-L)}}$.

(3)由题图(b)得 $s^2=2.0-2\cos\theta$,因 $\theta=30°$,则 $s^2=0.268$,所以 $s=0.52$ m;

由机械能守恒知,$mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_0^2$,由平抛运动规律知,$s=v_0t$,$h-L=\frac{1}{2}gt^2$,

三式联立得:$s^2=4L(h-L)(1-\cos\theta)$

由图象得:$1-\cos\theta=\frac{s^2}{2}$

解得 $h=1.5$ m.

专题六 探究动能定理

[**实战演练**]

1. **答案**:见解析

解析:该题综合考查了本实验的注意事项、数据处理及结论,对考生的能力要求较高.

(1)将木板固定有打点计时器的一端垫起适当的高度,使小车缓慢匀速下滑.

(4)由匀速运动的速度公式 $v=\frac{x}{t}$知,其中 x 在题图中的读数分别为 2.00 cm、2.83 cm、3.46 cm、4.00 cm. $t=T=\frac{1}{f}=0.02$ s,即可求出小车的速度.

次数	1	2	3	4
橡皮筋对小车做功		$2W$	$3W$	$4W$
小车速度 v(m/s)	1.0	1.415	1.73	2.0
v^2(m^2/s^2)	1.0	2.0	3.0	4.0

由表中数据可得出的结论:橡皮筋对小车做的功与小车速度的平方成正比.

2. **答案**:(1)小车做匀速运动　(2)0.228　(3)如解析图 1 所示　(4)0.093

解析:(1)小车处于平衡状态,故它被轻推后能做匀速直线运动.

(2)$v_1=\frac{x_1+x_2}{2T}=\frac{(2.06+2.50)\times10^{-2}\text{ m}}{2\times0.1\text{ s}}=0.228$ m/s.

(3)如图 1 所示.

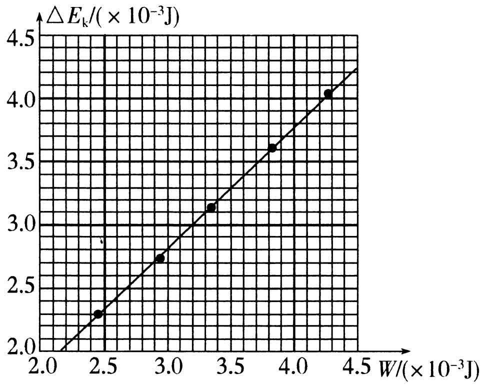


图 1

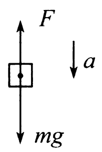


图 2

(4)钩码受力如图2所示,则有 $F_{合}=mg-F$

根据牛顿第二定律得 $mg-F=ma$ ①

小车所受合力的大小等于 F,再由牛顿第二定律得 $F=Ma$ ②

综合①②得 $F=\frac{Mmg}{M+m}$

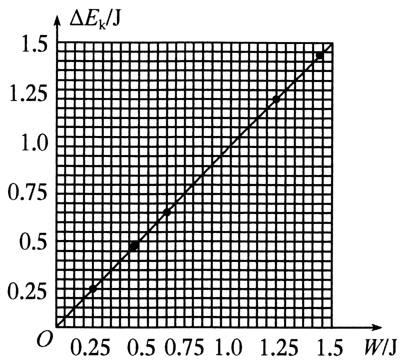
代入数据得 $F=\frac{0.2\times0.01\times9.8}{0.2+0.01}$ N≈0.093 N.

3. **答案**:(1)①小车 ②然后释放小车 ③减少砝码 (2)0.600 0.610 (3)见解析图

解析:(2) $\Delta E_{k3}=\frac{1}{2}m|v_2^2-v_1^2|=\frac{1}{2}\times0.500\times2.400\ \text{J}=0.600\ \text{J}$

$W_3=F_3\cdot L_{AB}=1.220\times0.500\ \text{J}=0.610\ \text{J}$.

(3)如图所示.



4. **答案**:(1)0.520 (3)砝码盘中砝码的质量 m (5) $(m+m_0)gs$ $\frac{1}{2}M\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2-\frac{1}{2}M\left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2$ (7)B

解析:(1)由于游标卡尺是20分度,所测遮光片的宽度应是主尺读数与游标尺两读数之和,即5 mm + 4×0.05 mm = 5.20 mm = 0.520 cm.

(3)在砝码盘中放入适量砝码,适当调节长木板的倾角,直到轻推小车,遮光片先后经过光电门 A 和光电门 B 的时间相等,这一步的目的是使取下细线和砝码盘后小车运动所受合外力等于砝码和砝码盘的重力 $(m+m_0)g$,所以当取下细线和砝码盘时,记下砝码盘中砝码的质量 m.

(5)小车从光电门 A 下滑至光电门 B 过程中合外力做的总功 $W_{合}=(m+m_0)gs$,小车动能变化量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}M\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2-\frac{1}{2}M\left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2$,比较 $W_{合}$ 和 ΔE_k 的值,找出两者之间的关系.

(7)尽量减小两光电门间的距离 s,会增大误差,A错误;调整滑轮,使细线与长木板平行,这样细线拉力等于小车做加速运动时受到的合外力,有利于减小误差,B正确;本实验没有用砝码和砝码盘的重力代替细线的拉力,故不需要满足砝码和砝码盘的总质量远小于小车的质量,C错误.

专题七 验证机械能守恒定律

[实战演练]

1. **答案**:(1)AB (2)BC

解析:(1)重物选用质量和密度较大的金属锤,能够减小空气阻力的影响,以减小误差,故 A 正确;两限位孔在同一竖直面内上下对正,减小纸带和打点计时器之间的阻力,以减小误差,故 B 正确;验证机械能守恒定律的公式是:$mgh=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$,重物质量可以消掉,无需精确测量出重物的质量,故 C 错误;用手托稳重物,接通电源后,撤手释放重物对减小实验误差无影响,故 D 错误.

(2)利用纸带数据,根据 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$ 即可验证机械能守恒定律.要从纸带上测出重物下落的高度并计算出对应的速度,选项 A、D 的条件中,下落高度与所能计算的速度不对应;选项 B 的条件符合要求,可以取重物下落 OC 时处理;选项 C 中,可以求出 C、F 点的瞬时速度,又知 CF 间的距离,可以利用$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=mg\Delta h$ 验证机械能守恒定律.

2. **答案**:(1)$\frac{d}{\Delta t}$ (2)当地的重力加速度 (3)mgx $\frac{d^2}{2\Delta t^2}(M+m)$

解析:(1)根据极短时间内的平均速度等于瞬时速度,可知滑块经过光电门的速度大小 $v=\frac{d}{\Delta t}$.

(2)以钩码和滑块所组成的系统为研究对象,其重力势能的减少量为 mgx,系统动能的增加量为 $\frac{1}{2}(M+m)v^2=\frac{1}{2}(M+m)\frac{d^2}{\Delta t^2}$,可知还需要知道当地的重力加速度.

(3)验证重力势能的减少量 mgx 和动能的增加量$\frac{d^2}{2\Delta t^2}(M+m)$是否相等即可.

3. **答案**:(1)①②或①③ (2)①③ (3)对同一高度进行多次测量取平均值;或选取受力后相对伸长量尽量小的绳

解析:(1)通过连结在一起的 A、B 两物体验证机械能守恒定律,即验证系统的势能变化与动能变化是否相等,A、B 连结在一起,A 下降的距离一定等于 B 上升的距离;A、B 的速度大小总是相等的,故不需要测量绳子的长度和 B 上升的距离及时间.

(2)如果绳子质量不能忽略,则 A、B 组成的系统势能有一部分转化为绳子的动能,从而为验证机械能守恒定律带来误差;若物块摇摆,则两物块的速度有差别,为计算系统的动能带来误差;绳子长度和两个物块质量差应适当.

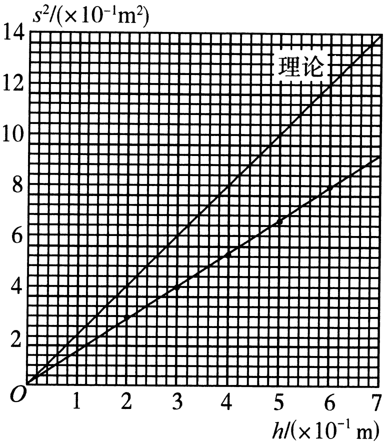
(3)多次取平均值可减小测量误差,绳子伸长量尽量小,可提高测量高度的准确度.

4. **答案**:(1)$4Hh$ (2)如解析图所示 (3)小于 (4)轨道与小球间存在摩擦(回答任一即可)

解析:(1)根据机械能守恒,可得离开轨道时速度为 $\sqrt{2gh}$,由平抛运动知识可求得时间为 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$,可得

$s = vt = \sqrt{4Hh}$.

(2)依次描点,连线,注意不要画成折线.



(3)由图可知,同一 h 下的 s^2 值理论值明显大于实际值,而在同一高度 H 下的平抛运动水平射程由水平速率决定,可见实际水平速率小于理论速率.

(4)由于轨道与小球间存在摩擦,机械能减小,因此会导致实际值比理论值小.小球的转动也需要能量维持,而机械能守恒中没有考虑重力势能转化成转动能的这一部分,也会导致实际速率明显小于“理论”速率(这一点,可能不少同学会考虑不到).

专题八　验证动量守恒定律

[**实战演练**]

1. **答案**:见解析

解析:(1)P 点是在实验的第一步中小球 1 落点的平均位置;M 点是小球 1 与小球 2 碰撞后小球 1 落点的平均位置;N 点是小球 2 落点的平均位置.

(2)小球从槽口 C 飞出后做平抛运动的时间相同,设为 t,则有

$OP = v_{10}t$

$OM = v_1 t$

$ON = v_2 t$

小球 2 碰撞前静止, $v_{20} = 0$

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}} = \frac{ON - OM}{OP}.$$

(3)OP 与小球的质量无关,OM 和 ON 与小球的质量有关.

2. **答案**:见解析

解析:滑块运动的瞬时速度大小

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad ①$$

式中 Δs 为滑块在很短时间 Δt 内走过的路程.

设纸带上打出相邻两点的时间间隔为 Δt_A，则

$$\Delta t_A=\frac{1}{f}=0.02\ \text{s} \quad ②$$

Δt_A 可视为很短.

设滑块 A 在碰撞前、后瞬时速度大小分别为 v_0、v_1.

将②式和图给实验数据代入①式得

$$v_0=\frac{4.00\times10^{-2}}{0.02}\ \text{m/s}=2.00\ \text{m/s} \quad ③$$

$$v_1=\frac{1.94\times10^{-2}}{0.02}\ \text{m/s}=0.970\ \text{m/s} \quad ④$$

设滑块 B 在碰撞后的速度大小为 v_2，由①式有

$$v_2=\frac{d}{\Delta t_B} \quad ⑤$$

代入题给实验数据得 $v_2=2.86\ \text{m/s}$ ⑥

设两滑块在碰撞前、后的总动量分别为 p 和 p'，则

$$p=m_1v_0 \quad ⑦$$

$$p'=m_1v_1+m_2v_2 \quad ⑧$$

两滑块在碰撞前、后总动量相对误差的绝对值为

$$\delta_p=\left|\frac{p-p'}{p}\right|\times100\% \quad ⑨$$

联立③④⑥⑦⑧⑨式并代入有关数据，得

$$\delta_p\approx1.7\%<5\% \quad ⑩$$

因此，本实验在允许的误差范围内验证了动量守恒定律.

3. **答案**：(1)E　D　(2)C

解析：(1)小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下，m_1 的落点在图中的 E 点，小球 m_1 和小球 m_2 相撞后，小球 m_2 的速度增大，小球 m_1 的速度减小，都做平抛运动，所以碰撞后 m_1 球的落点是 D 点，m_2 球的落点是 F 点.

(2)设斜面倾角为 θ，小球落点到 B 点的距离为 L，小球从 B 点抛出时速度为 v，则竖直方向有 $L\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$，水平方向有 $L\cos\theta=vt$，解得 $v=\frac{L\cos\theta}{t}=\frac{L\cos\theta}{\sqrt{\frac{2L\sin\theta}{g}}}=\frac{\cos\theta}{\sqrt{\frac{2\sin\theta}{g}}}\sqrt{L}$，所以 $v\propto\sqrt{L}$. 由题意分析得，只要满足 $m_1v_1=m_2v_2+m_1v_1'$，把速度 v 代入整理得：$m_1\sqrt{L_E}=m_1\sqrt{L_D}+m_2\sqrt{L_F}$，说明两球碰撞过程中动量守

恒;若两小球的碰撞是弹性碰撞,则碰撞前、后机械能没有损失,则要满足关系式:$\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$,整理得 $m_1L_E=m_1L_D+m_2L_F$,故 C 正确.

4. **答案**:(1)弹性球 1、2 的质量 m_1、m_2　立柱高 h　桌面高 H　(2)$2m_1\sqrt{a-h}=2m_1\sqrt{b-h}+m_2\frac{c}{\sqrt{H+h}}$

解析:(1)要验证动量守恒必须知道两球碰撞前、后的动量变化,根据弹性球 1 碰撞前、后的高度 a 和 b,由机械能守恒可以求出碰撞前、后的速度,故只要再测量弹性球 1 的质量 m_1,就能求出弹性球 1 的动量变化;根据平抛运动的规律只要测出立柱高 h 和桌面高 H 就可以求出弹性球 2 碰撞后的速度,故只要测量弹性球 2 的质量和立柱高 h、桌面高 H 就能求出弹性球 2 碰后的动量.

(2)根据(1)的解析可以写出动量守恒的方程

$m_1\sqrt{2g(a-h)}=m_1\sqrt{2g(b-h)}+m_2\cdot\frac{c}{\sqrt{\frac{2(H+h)}{g}}}$ 整理得

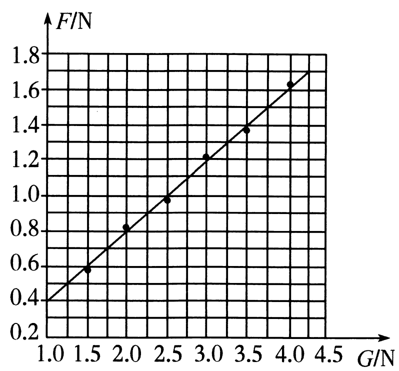
$2m_1\sqrt{a-h}=2m_1\sqrt{b-h}+m_2\frac{c}{\sqrt{H+h}}$.

专题九　测定动摩擦因数

［实战演练］

1. **答案**:(1)如解析图所示　(2)0.40(0.38~0.42 均正确)　(3)$\sqrt{2\mu g(s-h)}$

解析:(1)根据“三个标准”作图线:去奇异点;尽量多的落在直线上;不在直线上的点均匀分布直线的两侧.



(2)由 $F=\mu G$ 可知,$\mu=\frac{\Delta F}{\Delta G}=\frac{1.6-0.4}{4.0-1.0}=0.40$.

(3)滑块运动 h 达到最大速度 v,之后继续滑行直到停到 D 点,由动能定理可得:

$-\mu mg(s-h)=-\frac{1}{2}mv^2$ 解得:$v=\sqrt{2\mu g(s-h)}$.

2. **答案**:(1)0.960 (2)$\frac{1}{2s}\left[\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2-\left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2\right]$ (3)$\frac{mg-(M+m)\overline{a}}{Mg}$ (4)系统误差

解析:(1)游标卡尺的读数=主尺(整毫米数)+游标尺对齐格数×精度,题中游标卡尺的主尺部分的读数为9 mm,对齐格数为第12条,20分度的游标卡尺的精度为$\frac{1}{20}$ mm=0.05 mm,所以$d=9$ mm+12×0.05 mm=9.60 mm=0.960 cm.

(2)物块在重物作用下沿水平桌面上做匀加速直线运动,经过光电门A、B时的速度大小分别为$\frac{d}{\Delta t_A}$、$\frac{d}{\Delta t_B}$,由$v_B^2-v_A^2=2as$解得$a=\frac{1}{2s}\left[\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2-\left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2\right]$.

(3)把重物、物块和遮光片看做整体,进行受力分析,由牛顿第二定律有$mg-\mu Mg=(M+m)\overline{a}$,解得$\mu=\frac{mg-(M+m)\overline{a}}{Mg}$.

(4)从来源看,误差分为系统误差和偶然误差两种.系统误差是由于仪器本身不精确,或实验方法粗略,或实验原理不完善而产生的;偶然误差是由各种偶然因素对实验者、测量仪器、被测物理量的影响而产生的.细线没有调整到水平引起的误差属于系统误差.

3. **答案**:(1)0.495~0.497 m/s^2 (2)①CD ②天平 (3)$\frac{m_3g-(m_2+m_3)a}{m_2g}$ 偏大 忽略了纸带与限位孔之间的摩擦力、空气阻力、滑轮处的摩擦力、细绳质量,导致测量的动摩擦因数偏大

解析:由逐差法得$a=\frac{(s_5-s_2)+(s_6-s_3)+(s_7-s_4)}{9T^2}=0.497$ m/s^2.

对系统应用牛顿第二定律有$m_3g-\mu m_2g=(m_2+m_3)a$,解得$\mu=\frac{m_3g-(m_2+m_3)a}{m_2g}$,据此可知为测量动摩擦因数,还应测量的有滑块的质量m_2,托盘和砝码的总质量m_3,测量质量需要的实验器材是天平.

4. **答案**:(1)位移s 时间t $a=\frac{2s}{t^2}$ (2)$m+m'$ 滑块上 (3)0.23(0.21~0.25均可)

解析:(1)滑块在水平轨道上从A到B做初速度为零的匀加速直线运动,根据$s=\frac{1}{2}at^2$得$a=\frac{2s}{t^2}$,所以需要测量的是位移s和时间t.

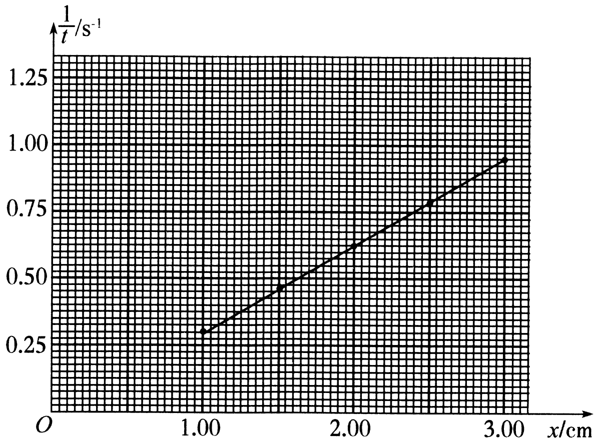
(2)根据整体法有$a=\frac{mg-\mu(M+m')g}{M+m+m'}=\frac{mg-\mu(M+m+m')g+\mu mg}{M+m+m'}=\frac{(1+\mu)g}{M+m+m'}m-\mu g$,若要求$a$是$m$的一次函数必须使$\frac{(1+\mu)g}{M+m+m'}$不变,即使$m+m'$不变,在增大$m$时等量减小$m'$,所以实验中应将从托盘中取出的砝码置于滑块上.

(3)将$\frac{(1+\mu)g}{M+m+m'}$取为k,有$k=\frac{a_1+\mu g}{m_1}=\frac{a_2+\mu g}{m_2}$,在图象上取两点将坐标代入解得$\mu=0.23$(在0.21到0.25之间是正确的).

专题十　力学创新实验

［实战演练］

1. **答案**：(1) $\frac{1}{t}-x$ 图线如图所示



(2) ① $\frac{1}{t}$ 与 x 成正比　② E_k 与 $\left(\frac{1}{t}\right)^2$ 成正比　③ $E_p=E_k$　④ E_p 与 x^2 成正比

解析：$\frac{1}{t}-x$ 图线为过原点的直线，故 $\frac{1}{t}$ 与 x 成正比，由 $v=\frac{x}{t}$，动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{x}{t}\right)^2$，故 $E_k\propto\left(\frac{1}{t}\right)^2$；根据机械能守恒弹簧形变量为 x 时对应的弹性势能与弹出时物块动能相等即 $E_p=E_k$；综上可得 $E_p\propto x^2$.

2. **答案**：(1) $l\sqrt{\frac{g}{2h}}$　(2) $p_0+\frac{kmg}{4Sh}$　(3) 偏小

解析：(1) 棉球从 B 点飞出后做平抛运动，则有 $l=v_0t$，$h=\frac{1}{2}gt^2$，联立解得 $v_0=l\sqrt{\frac{g}{2h}}$；

(2) 在吹棉球的过程中，由动能定理可得：$(p-p_0)Sx=\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}ml^2\cdot\frac{g}{2h}=\frac{mgl^2}{4h}$，

即 $l^2=\frac{(p-p_0)S\cdot 4h}{mg}x$，可知直线的斜率 $k=\frac{(p-p_0)S\cdot 4h}{mg}$，可得 $p=p_0+\frac{kmg}{4Sh}$.

(3) 若考虑实验中棉球与玻璃管的摩擦则得到的 p 与实际压强相比应偏小.

3. **答案**：(1) 60（56～64 均可）　T_P　(2) Q　(3) 4.30（4.25～4.35 均可）　$\frac{mgL}{2\sqrt{L^2-D^2}}$

解析：(1) 由曲线Ⅱ的最高点拉力最大，对应的横坐标 $PC=60$ cm，设 PC 和 QC 与水平面的夹角分别为 α 和 β，由 C 点的平衡条线可得：$T_P\cos\alpha=T_Q\cos\beta$，开始时 C 点靠近 P 点，$\alpha>\beta$，则 $\frac{T_P}{T_Q}=\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}>1$，即 $T_P>T_Q$，结合两曲线左侧部分，Ⅱ曲线靠上则为 T_P 的曲线.

(2)比较两图象的顶点大小可知,Ⅰ曲线的最高点更大,代表 Q 有最大拉力.

(3)两曲线的交点表示左、右绳的拉力大小相等,读出纵坐标为 $T_P=T_Q=4.30$ N,设 CQ 绳与立柱的夹角为 θ,延长 CQ 线交另立柱上,构成直角三角形,则 $\cos\theta=\frac{\sqrt{L^2-D^2}}{L}$,由力的平衡可知 $2T_Q\cos\theta=mg$,则 $T_Q=\frac{mg}{2\cos\theta}=\frac{mgL}{2\sqrt{L^2-D^2}}$.

4. **答案:**(1)作出假设　搜集证据　(2)匀速运动　1.937

(3)加速度逐渐减小的加速运动　匀速运动

(4)图线 1 反映速度不随时间变化,图线 5 反映速度随时间继续增大(图线 1 反映纸杯做匀速运动,图线 5 反映纸杯依然做加速度减小的加速运动)

解析:略

专题十一　电阻测量及测定金属的电阻率

[**实战演练**]

1. **答案:**(1)B　0.410　(2)7、9　断路

(3)电流表改为内接;测量多组电流值和电压值,计算出电阻的平均值(或测量多组电流值和电压值,用图象法求电阻值)

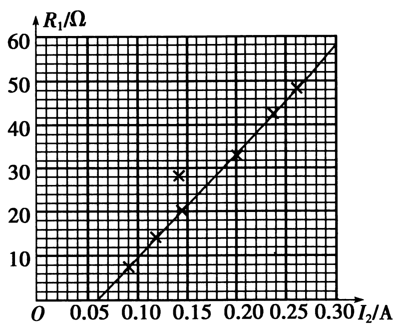
解析:(1)读数前应先旋紧 B,螺旋测微器的读数为

0 mm + 0.01 mm × 41.0 = 0.410 mm.

(2)因为电压表有读数,说明除 7、9 之间的电路都应畅通,且是串联电路,由于电压表内阻比较大,因此通过电压表、电流表的电流比较小,滑动变阻器滑片的移动对两电表示数的影响较小. 则 7、9 之间的电路可能接触不良,形成断路.

(3)由于 $\sqrt{R_VR_A}=\sqrt{3\,000\times0.3}\ \Omega=30\ \Omega$,$R_x>\sqrt{R_VR_A}$,即 $\frac{R_x}{R_A}>\frac{R_V}{R_x}$,宜采用电流表内接法;通过多次测量求平均值或图象法可提高实验的精确度.

2. **答案:**(1)D　C　(2)变大　(3)如图所示　(4)31



解析:(1)A_1 的示数能达到 0.15 A,A_2 的示数由图象可知能达到 0.3 A,故 A_1、A_2 的量程均选 0.3 A,由电路图可列出关系式 $(R_x+R_{A2})I_2=(R_0+R_1+R_{A1})I_1$,整理后可得 $R_{A2}+R_x=\frac{I_1}{I_2}(R_0+R_1+R_{A1})$,由此可知,若 R_{A1} 已知,则无论 R_1、I_2 如何变化,R_x+R_{A2} 均为定值,无法得到 R_x,故应使 R_{A2} 已知,即 A_1 选 D,A_2 选 C.

(2)当 R_1 减小时,如果在滑动变阻器的电阻值保持不变的情况下,电路的总电阻减小,由闭合电路的欧姆定律可得总电流 I 增大,由分压关系知,并联部分得的电压减小,则 I_2 减小,由 $I_1=I-I_2$ 得 I_1 增大,要使 $I_1=0.15$ A,则需滑动变阻器分得的电压增大,即 R 的阻值变大.

(4)根据$(R_x+R_{A2})I_2=(R_0+R_1+R_{A1})I_1$,可得$R_1=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}I_2-(R_0+R_{A1})$,即$R_1$-$I_2$图象的斜率$k=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}$,根据图象并代入相关数据,可得$R_x=31\ \Omega$.

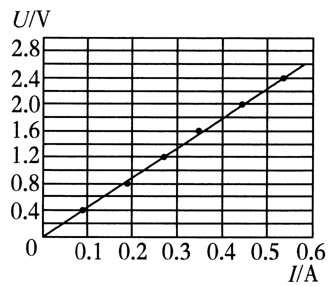
3. **答案:**(1)R_0　A_0　(2)R_N　A_0的读数仍为I　(3)平均值

解析:此题测量微安表头A的内阻采用的是替代法.首先将S拨向接点1,接通S_1,调节R_0,使待测表头指针偏转到适当位置,记下此时标准电流表A_0的读数I;然后将S拨向接点2,让电阻箱替代待测电流表,调节R_N,使标准电流表A_0的读数仍为I;此时电阻箱读数等于待测电流表内阻,记下此时R_N的读数;多次重复上述过程,计算R_N读数的平均值,此即为待测微安表头内阻的测量值.

4. **答案:**(1)a　d　(2)如解析图所示　4.5(4.4~4.7)　(3)B

解析:(1)由于待测电阻$R_x<\sqrt{R_AR_V}$,电流表应外接,所以导线①应该接a;滑动变阻器采用分压式接法,导线②应接d.

(2)用作图法求解R_x时,注意描点连线应为一条过原点的直线,使直线穿过尽可能多的点,不在直线上的点均匀分布在直线两侧,U-I图线的斜率等于待测电阻的阻值.由图线可得$R=4.5\ \Omega$.



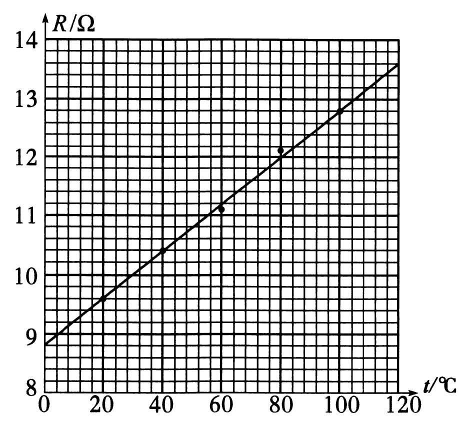
(3)根据电阻定律$R=\rho\frac{l}{S}$,可以计算出题图中两个电阻R_1和R_2的阻值相等,因此测量R_2的电阻时,电路接法与测量R_1相同即可,B正确.

专题十二　描绘小电珠的伏安特性曲线

[**实战演练**]

1. **答案:**(1)A　(2)①②③(或①③②)

(3)如图所示　$0.04t+8.8$($0.04t+8.6$~$0.04t+9.0$都算对)



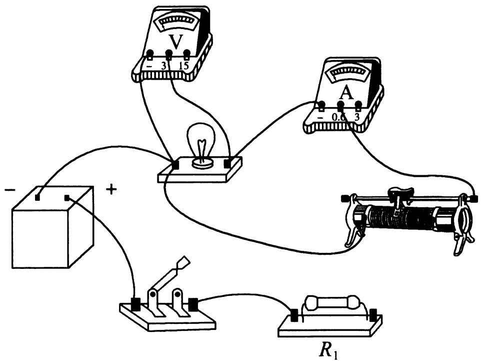
解析:(1)当滑动变阻器取最大阻值10 Ω时,再加上金属电阻常温下阻值为10 Ω,总电阻为20 Ω,则电流$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{1.5}{20}\ A=0.075\ A=75\ mA<100\ mA$,故选量程为0~100 mA的电流表比较精确,即选A.

(2)调电阻箱时要注意的是不能使电流超过电流表的量程,也就是不能先将 b、c 旋钮先旋转至"0",因为此时电阻箱相当于导线,电流表可能会烧坏. 因此必须先将 a 旋钮由"0"旋转至"1",再将 b、c 旋钮旋转至"0".

(3)根据表中数据,在方格纸上描点,并根据点的分布特点作出 $R-t$ 图象,且使直线尽可能通过更多的点,在直线上找两个点代入直线方程 $R=kt+b$,列出方程组,求出 $k=0.04$,$b=8.8$,即 $R=0.04t+8.8$.

2. **答案**:(1)如解析图所示 (2)10 (3)电池 (4)图线不应画为直线 横坐标的标度不恰当

解析:(1)探究小灯泡的电功率与电压的关系时,小灯泡两端电压从零开始变化,所以滑动变阻器应接成分压电路. 根据 $P=IU$ 知,通过小灯泡的最大电流 $I=\frac{P}{U}=0.6$ A,故电流表选 0~0.6 A 的量程,实物电路如图所示.



(2)小灯泡正常工作时两端电压是 3 V,电流 $I_L=\frac{P}{U_L}=\frac{1.8}{3}$ A $=0.6$ A,电路总电流 $I>0.6$ A,电路总电阻 $R=\frac{E}{I}<\frac{12}{0.6}$ Ω $=20$ Ω,所以定值电阻只能选择 10 Ω.

(3)断开开关后,电路中没有电流,但电池两端的导线接触可能会引起电池短路,所以应该先拆除电池两端的导线.

(4)描点作图应该根据点的分布用平滑的曲线连接;画的图线应该尽量占满坐标纸.

3. **答案**:(1)如图 1 所示 (2)3.60 (3)如图 2 所示 40.0

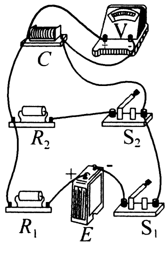


图 1

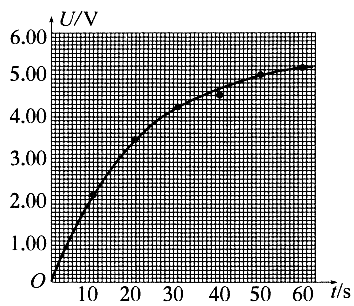


图 2

(4)实验前使电容器充分放电

解析:(2)电压表量程为6 V,分度值为0.1 V,所以读数为3.60 V(估读到下一位).

(3)用平滑的曲线把大部分点拟合在一起,发现电压表示数变化越来越慢,40.0 s对应的数据偏离曲线较大(30.0 s到40.0 s的电压值变化过快,与整条曲线的变化趋势不符),舍去.

(4)实验前电容器不能带电,这个回路使电容器充分放电,不影响后续实验.

4. **答案**:(1)如解析图1所示　(2)0.44　(3)4　2.28(2.25~3.00)

解析:(1)电流表示数要从零开始逐渐增大,滑动变阻器要用分压接法,如图1所示.

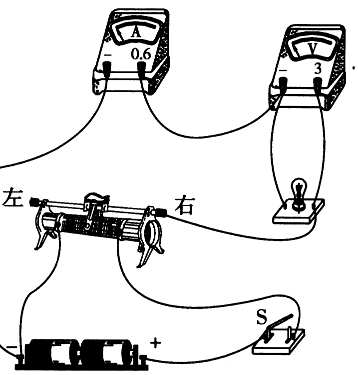


图1

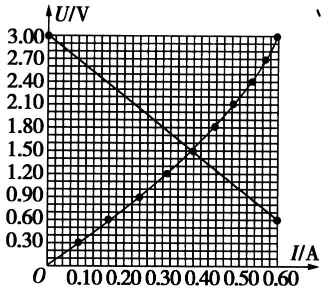


图2

(2)电流表示数为0.44 A.

(3)当外电路的总电阻与电源内阻相等时,电源有最大的输出功率,即小电珠的总功率最大,此时$R_{外}=r=1\ \Omega$,$I=\frac{E}{R_{外}+r}=\frac{3}{2}\ A=1.5\ A$,$U_{外}=\frac{E}{2}=1.5\ V$,即每只小电珠两端的电压为1.5 V,通过图象可知每只小电珠的电流为$I_0=0.38\ A$,$n=\frac{I}{I_0}\approx4$(只);通过每只小电珠的电流为I_0,两端电压为U,根据闭合电路欧姆定律得:$U+nI_0r=E$,而$U+4I_0=3\ V$,$U=-4I_0+3\ V$,如图2所示,图线的交点纵、横坐标分别为$U\approx1.5\ V$,$I_0\approx0.38\ A$,$P=UI_0=0.57\ W$,$P_{总}=nP=0.57\times4\ W=2.28\ W$.

专题十三　测定电源的电动势和内阻

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)A_2　R_2　(2)25　(3)$\frac{U_0}{I_0}-r$　(4)相同　不同

解析:(1)根据题意,电池内阻和待测电阻阻值均为数十欧,从电路图可以看出,滑动变阻器采用限流接法,故滑动变阻器应选R_2;又电池的电动势为6 V,由欧姆定律可知电流表A_1量程太小,故电流表选用A_2.

(2)由闭合电路欧姆定律可知$E=U+Ir$,即$U=E-Ir$,U-I图线的斜率的绝对值表示电池的内阻,从U-I图线可以得出$r=25\ \Omega$.

(3)将 R_x 改接在 B、C 之间后，由闭合电路欧姆定律有 $E=U+I(R_x+r)$，即 $U=E-I(R_x+r)$，可知$\frac{U_0}{I_0}=R_x+r$，则 $R_x=\frac{U_0}{I_0}-r$.

(4)滑动变阻器接入电路的阻值变化相同时，电流表示数变化范围相同，电压表测的是不同电阻两端的电压，所以示数变化范围不同.

2. **答案:**(1)$\frac{1}{I}=\frac{3.0}{E}R+\frac{3.0}{E}(5.0+r)$

(2)0.110　9.09　(3)1.0(或在 0.96～1.04)之间　6.0(或在 5.9～6.1 之间)

(4)3.0(或在 2.7～3.3 之间)　1.0(或在 0.6～1.4 之间)

解析:本题考查了测量电源电动势和内阻的实验.

(1)根据闭合电路欧姆定律有

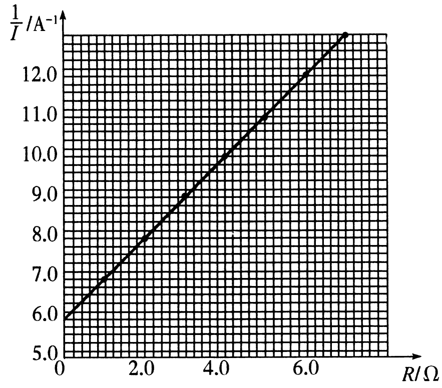
$$E=\left(\frac{IR_A}{R_1}+I\right)(R+R_0+r)+IR_A.$$

代入数据，化简得

$$\frac{1}{I}=\frac{3.0}{E}R+\frac{3.0}{E}(5.0+r).$$

(2)电流表每小格表示 2 mA，因此电流表读数为 0.110 A，倒数是 9.09 A^{-1}.

(3)根据坐标纸上给出的点，并补充所缺数据点，画出一条直线，得出斜率 $k=1.0\ A^{-1}\cdot\Omega^{-1}$，截距 $b=6.0\ A^{-1}$.

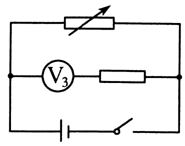


(4)斜率 $k=\frac{3.0}{E}$，因此 $E=3.0$ V，截距 $b=\frac{3.0}{E}(5.0+r)$，因此 $r=\frac{bE}{3}-5=1.0\ \Omega$.

3. **答案:**(1)C　6　(2)如解析图所示　(3)7.5　10

解析:(1)选择量程为 3 V、内阻大约为 3 kΩ 的电压表 V_3 表盘刻度改装容易，读数容易，改装后量程和内阻都扩大 3 倍，所以改装时需要串联 6 kΩ 的电阻.

(2)实验原理电路图如图所示.



(3)电压表示数为1.50 V时,改装电压表的示数为4.50 V,即加在电阻箱上的电压是4.50 V,根据闭合电路的欧姆定律$E=4.5+\frac{4.5}{15.0}r$,同理有$E=6.0+\frac{6.0}{40.0}r$.连立二式解得$E=7.5\ \text{V}$,$r=10\ \Omega$.

4. **答案**:(1)将S_2切换到b　$\frac{U_2-U_1}{U_1}r$

(2)1.43(或$\frac{10}{7}$)　1.2

(3)较小　甲

解析:(1)通过串联分压比较法来测电阻R_1的阻值,要测出R_1的电压,所以要将S_2切换到b,由串联电路规律可得$R_1=\frac{U_2-U_1}{U_1}r$.

(2)由闭合电路欧姆定律得$E=U+\frac{U}{R}\cdot(R_1+R_2)$,变形为$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{R_1+R_2}{E}\cdot\frac{1}{R}$,可知$\frac{1}{U}$与$\frac{1}{R}$是一次函数关系,其截距为$\frac{1}{E}$,其斜率为$\frac{R_1+R_2}{E}$,结合图象数据得$\frac{1}{E}=0.7$,得$E\approx1.43\ \text{V}$,$\frac{R_1+R_2}{E}=\frac{2.8-0.7}{0.5}=4.2$,得$R_2=1.2\ \Omega$.

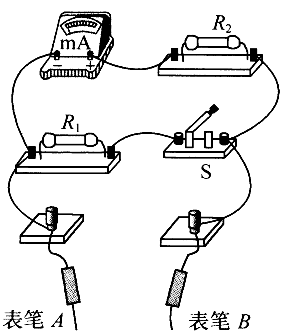
(3)由于R_2的阻值较小,乙同学获得的电压数据范围过小,做实验时要求所取数据范围应尽量大,减小偶然误差的影响,所以应采用测量范围大的甲同学的做法.

专题十四　电压表与电流表的改装

[实战演练]

1. **答案**:(1)连线如解析图所示　(2)电流　电压　(3)黑　(4)1.00　880

解析:(1)表头跟R_2串联,R_1跟开关串联,两个支路并联,连线图如图所示.



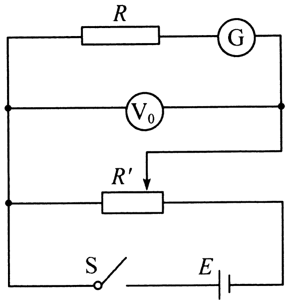
(2)开关闭合时,电表的内阻较小,为等效电流表;开关断开时,电表的内阻较大,为等效电压表.

(3)电流由红表笔流入,由题图(a)可看出表头右端为"+",故表笔 A 为黑表笔.

(4)设表头的内阻为 r,满偏电流为 I_g,由欧姆定律可知 $I_g(R_2+r)=1\ \text{V}$,$(R_2+r)I_g=(1\ \text{A}-I_g)R_1$,解得 $R_1\approx1.00\ \Omega$,$R_2=880\ \Omega$.

2. **答案:**(1)①B　C　F　②B　C　A　E　③300　略小于　④串　19.7

(2)①如图所示　②3.0　0.50　27.0



解析:(1)①半偏法测量表头内阻时,首先选择滑动变阻器(必须大于电路所需的最小电阻,根据电路的电压为电动势,电路的最大电流为表头的满偏电流,则最小电阻为$\frac{6}{0.2\times10^{-3}}$ kΩ=30 kΩ 或$\frac{1.5}{0.2\times10^{-3}}$ kΩ=7.5 kΩ,考虑到电阻 R_0 约为 1 kΩ,则可知调节滑动变阻器使表头满偏时滑动变阻器的阻值分别接近 29 kΩ 或 6.5 kΩ,电路图中 R_2 只能选择 F. 表头满偏时滑动变阻器的阻值越大,实验的误差越小,所以电源选择电动势为 6 V 的 B,而且滑动变阻器 F 的阻值也满足调节所需. 而 R_1 是用来测量表头内阻的电阻箱只能选 C.

②实验步骤为:第一步闭合 S_2(B),第二步调节 R_2 的阻值,使电流计满偏(C),第三步闭合 S_1(A),第四步调节 R_1 的阻值,使电流计半偏(E),第五步读出 R_1 的示数为待测表头的内阻.

③R_1 的示数为待测表头的内阻,其阻值为 300.0 Ω. 闭合 S_1 后,电路的总电阻减小,当表头半偏时,干路电流就大于表头的满偏电流,流过电阻箱的电流就大于流过表头的电流,所以电阻箱的阻值略小于表头内阻.

④给表头串联一个电阻可以改装成电压表,改装电压表的内阻为 $R_V=\frac{U_m}{I_g}$ kΩ$=\frac{4}{0.2\times10^{-3}}$ kΩ=20 kΩ,则串联电阻大小为 20 kΩ−300 Ω=19.7 kΩ.

(2)本实验是对改装电压表进行校准的,将改装电压表和标准电压表并联后要求电压从 0 到满偏变化,所以滑动变阻器采用分压式接法. 表头的刻度均匀. 当表针恰好指到满量程的五分之二时,流过改装电压表的电流是 $0.4I_g$,根据欧姆定律分别有

$4=0.4I_g(r_g+17\times10^3)$ 和 $2=0.4I_g(r_g+7\times10^3)$

解得表头内阻为 3.0 kΩ,满偏电流为 0.50 mA

量程是 15 V 的改装电压表的内阻为 $R_V=\frac{U_m}{I_g}=\frac{15}{0.5\times10^{-3}}$ kΩ=30 kΩ,所以改装时串联的定值电阻为 30 kΩ−3.0 kΩ=27.0 kΩ.

3. **答案**:(1)15　35　(2)300　3 000　(3)c　闭合开关时,若电表指针偏转,则损坏的电阻是 R_1;若电表指针不动,则损坏的电阻是 R_2

解析:(1)分析电路结构,根据并联电路分流规律,得 $(R_1+R_2)\times 2=100\ \Omega$,$9R_1=100\ \Omega+R_2$,解得 $R_1=15\ \Omega$,$R_2=35\ \Omega$.

(2)根据电流表校准的刻度,可知电路中总阻值最大为 $\frac{1.5\ \text{V}}{0.000\ 5\ \text{A}}=3\ 000\ \Omega$,最小阻值为 $\frac{1.5\ \text{V}}{0.003\ \text{A}}=500\ \Omega$. 若定值电阻选择 1 000 Ω,则无法校准 3.0 mA,所以定值电阻选择 300 Ω. 由于最大阻值要达到 3 000 Ω,所以滑动变阻器要选择 3 000 Ω.

(3)若接在 b 端,则电路总是闭合的,不能具体判断哪一个电阻损坏了,故应将 d 接 c. 根据 d 接 c 时的电路连接情况可知:闭合开关,若电表指针偏转,则损坏的电阻是 R_1;若电表指针不动,则损坏的电阻是 R_2.

4. **答案**:(1)BEFADC　(2)相等　(3)$\frac{I_1 r}{I-I_1}$.

解析:(1)闭合开关 S_1 前,先将 R_1、R_2 调至很大,防止闭合开关后电流过大烧坏电表;闭合 S_1 后调节 R_1 使 Ⓖ₂ 满偏,通过 Ⓖ₁ 的读数知道 Ⓖ₂ 的满偏电流;闭合 S_2 后调节 R_1、R_2 使 Ⓖ₁ 的示数仍为 I_1,而 Ⓖ₂ 的示数为 I_1 的一半,则电阻箱中的电流与 Ⓖ₂ 中的电流相等,则 Ⓖ₂ 的电阻与电阻箱的读数相等.

(2)从原理看,由于电阻箱中的电流与 Ⓖ₂ 中的电流相等,Ⓖ₂ 内阻的测量值与真实值相等.

(3)要将电表 Ⓖ₂ 的量程扩大为 I,需并联一个电阻 R_S,且有 $I_1 r=(I-I_1)R_S$,$R_S=\frac{I_1 r}{I-I_1}$.

专题十五　练习使用多用电表

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)短接　(2)1　(3)15.0　3.60　(4)12.0　(5)9.00　15.0

解析:(1)欧姆表每次使用都需要将红、黑表笔短接进行欧姆调零.

(2)由于红表笔接欧姆表内置电源的负极,红表笔也应该与电压表的负接线柱相连,故应和 1 端相连.

(3)欧姆表读数需要“×1k”倍率,因此电阻为 15.0 kΩ. 电压表示数为 3.60 V,最小刻度是 1 的需要精确到最小刻度的下一位.

(4)当滑动变阻器电阻为零的时候,欧姆表测得的是电压表的内阻,因此是 12.0 kΩ.

(5)根据欧姆表中间刻度可以判断欧姆表的内阻为 15.0 kΩ,根据(4)中的数据可知,当测 12 kΩ 的电压表内阻时,电压表示数是 4.00 V,所以 $I=\frac{U}{R_V}=\frac{1}{3}$ mA,可得 $E=I(R_V+R_{内})=9.00$ V.

2. **答案**:(1)①R_1　②R_1 和 R_2 串联　③R_2(或电源)　(2)D

解析:(1)①若旋转选择开关,使尖端对准直流电流挡,此时多用电表与 R_1 串联,测量的是通过 R_1 的电流.

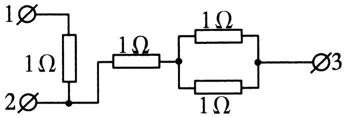
②断开电路中的电键,旋转选择开关使其尖端对准欧姆挡,此时 R_1 和 R_2 串联接入欧姆表,因而测量的是 R_1 和 R_2 串联的电阻.

③旋转选择开关,使尖端对准直流电压挡,闭合电键,并将滑动变阻器的滑片移至最左端,$R_1=0$,此时测量的是 R_2 两端的电压.

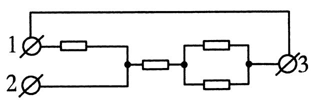
(2)双手捏住两表笔金属杆,测量值将偏小,选项 A 错误;测量时发现指针偏离中央刻度过大,若在中央刻度左边,需要增大倍率;若在中央刻度右边,需要减小倍率,重新调零后再进行测量,选项 B 错误;选择"×10"倍率测量时发现指针位于 20 与 30 正中间,测量值要大于 25 Ω,选项 C 错误;欧姆表内的电池使用时间太长,电池内阻变大,虽然完成调零,但测量值将略偏大,选项 D 正确.

3. **答案:**(1)如解析图所示 (2)0.6

解析:(1)根据已知 1、2 间电阻为 1 Ω,2、3 间电阻为 1.5 Ω,1、3 间电阻为 2.5 Ω,可画出电阻的连接方式如图所示.



(2)若将 1、3 接线柱用导线连接起来,则等效电路图如图所示.



故 $R_{12}=\frac{1\times1.5}{1+1.5}\ \Omega=0.6\ \Omega$.

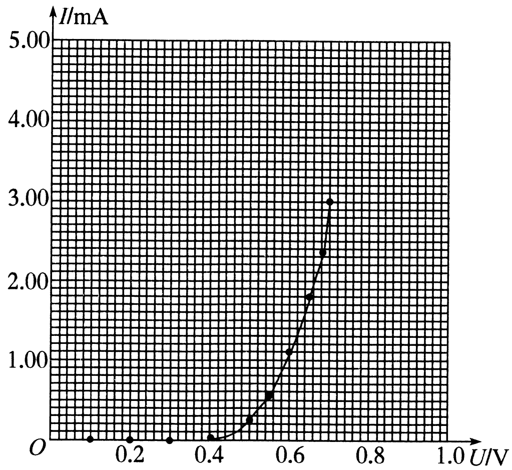
4. **答案:**(1)A. 欧姆调零旋钮 C. 负 (2)①1 ②见解析图 非线性 (3)串 267

解析:(1)A. 欧姆表选挡后要进行欧姆调零,即短接两表笔,调整欧姆调零旋钮,使指针指在表盘右侧"0"位置;

C. 步骤 B 中欧姆表示数很大,而步骤 C 中示数很小,由题中所给条件知,当示数很小时红表笔所接为二极管负极.

(2)①图中设计为伏安法测电阻的内接法和外接法可以互换的电路,当开关 S 接位置 1 时为电流表内接法,接位置 2 时为电流表外接法. 由表中数据可知,当电压表示数为 0.1 ~0.3 V 时,电流表示数为 0,故电流表内接,开关 S 接在位置 1.

②描点作图如图所示,由图线可知二极管是非线性元件.

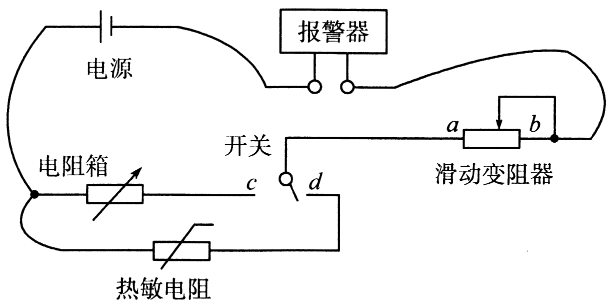


(3)发光二极管正常工作时两端电压为0.7 V,电源电动势高于0.7 V,应串联一个电阻,阻值 $R=\frac{E-U}{I}=\frac{1.5-0.7}{3\times10^{-3}}\ \Omega\approx267\ \Omega$.

专题十六　传感器的简单使用

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)连线如图所示



(2)R_2　(3)①650.0　b　接通电源后,流过报警器的电流会超过20 mA,报警器可能损坏　②c　报警器开始报警

解析:(1)电路如答案图所示.

(2)在室温下对系统进行调节,已知 U 约为18 V,I_c 约为10 mA;流过报警器的电流超过20 mA时,报警器可能损坏,可知外电阻的取值范围为$\frac{18}{20\times10^{-3}}\ \Omega=900\ \Omega\leq R\leq\frac{18}{10\times10^{-3}}\ \Omega=1\ 800\ \Omega$.

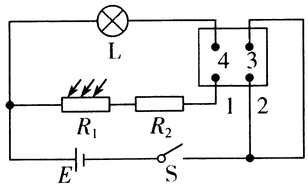
报警器的电阻是650.0 Ω,所以滑动变阻器阻值的取值范围在250 Ω到1 150 Ω之间,所以滑动变阻器应该选 R_2.

(3)①电阻箱代替报警器工作时的热敏电阻,阻值应为650.0 Ω,滑动变阻器刚开始应置于 b 端,若置于另一端,接通电源后,流过报警器的电流会超过 20 mA,报警器可能损坏;②实验调试时,将开关置于 c 端,缓慢调节滑动变阻器,直至报警器开始报警.

2. **答案**:(1)见解析　(2)①20　160 ~ 320

②把触点从弹簧片右侧移到弹簧片左侧,保证当电磁铁吸合铁片时,3、4 之间接通;不吸合时,3、4 之间断开

解析:(1)要使光敏电阻能够对电路进行控制,且有光照时路灯熄灭,光敏电阻应与 1、2 串联,3、4 与路灯串联,则电路图如图所示.



(2)①由 $U=IR$ 得励磁线圈允许加的最大电压 $U_m=I_mR=0.1\times200$ V = 20 V;依据允许通过励磁线圈的电流最大值和最小值计算得

$$R_{2\min}=\frac{E-U_m}{I_m}=\frac{16}{0.1}\ \Omega=160\ \Omega,$$

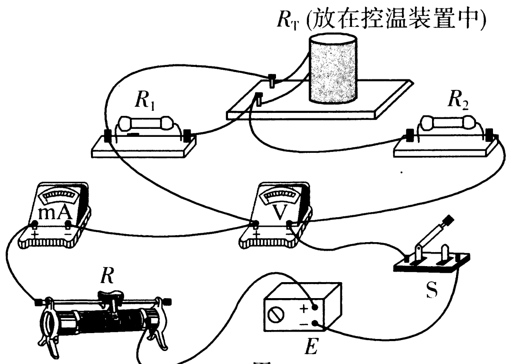
$$R_{2\max}=\frac{E-U_m}{I}=\frac{16}{0.05}\ \Omega=320\ \Omega,$$

因此保护电阻 R_2 的阻值范围为 160 ~ 320 Ω.

②把触点从弹簧片右侧移到弹簧片左侧,保证当电磁铁吸合铁片时,3、4 之间接通;不吸合时,3、4 之间断开.

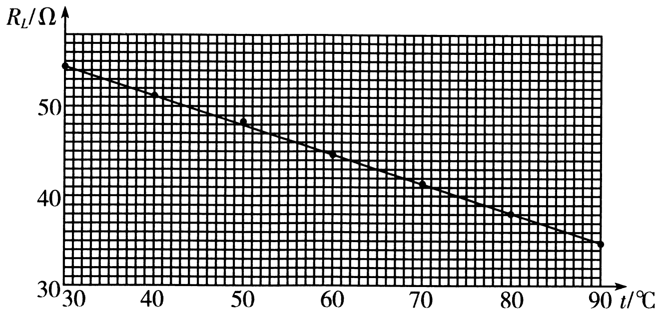
3. **答案**:(1)见解析图甲　(2)见解析图乙　(3)115 mA　5.00 V　43.5 Ω　64.0 ℃

解析:(1)根据电路图连接实物图.



甲

(2)根据表中数据描点,作出直线.



乙

(3)电流表读数:$I=115$ mA,电压表读数:$U=5.00$ V.

则 $R_L=\frac{U}{I}=\frac{5.00}{115\times10^{-3}}\ \Omega\approx43.5\ \Omega$,对照解析图乙找出相应温度约为64.0 ℃.

4. **答案**:(1)感应电流从 C 端流出　(2)外加电流从 D 端流入　$m=\frac{2nBL}{g}I$　(3)$\frac{2nBL}{g}\sqrt{\frac{P}{R}}$

解析:(1)由右手定则知,感应电流从 C 端流出.

(2)设线圈受到的安培力为 F_A,

外加电流从 D 端流入.

由 $F_A=mg$ 和 $F_A=2nBIL$

得:$m=\frac{2nBL}{g}I$.

(3)设能称量的最大质量为 m_0

由 $m=\frac{2nBL}{g}I$ 和 $P=I^2R$

得:$m_0=\frac{2nBL}{g}\sqrt{\frac{P}{R}}$.

专题十七　电学创新实验

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)$\frac{d_m}{2ND_\phi S}$　$\frac{d_m}{D_\phi \Delta t}$　(2)0.001 25I(或 kI)　(3)AB

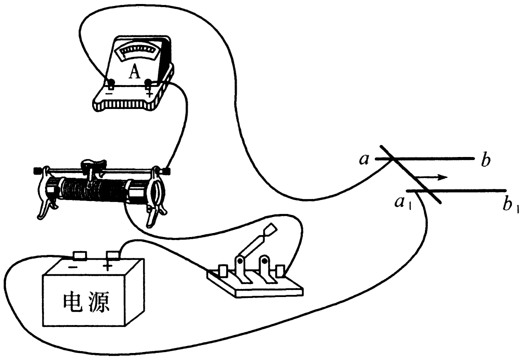
解析:(1)改变电流方向,单匝磁通量变化量为原来磁通量的两倍,即 $2BS$,代入公式计算得 $B=\frac{d_m}{2ND_\phi S}$,

由法拉第电磁感应定律可知电动势的平均值 $\varepsilon=\frac{d_m}{D_\phi \Delta t}$.

(2)根据数据可得 B 与 I 成正比,比例常数约为 0.001 25,故 $B=kI$(或 0.001 25I).

(3)为了得到平均电动势的准确值,时间要尽量小,由 B 的计算值可看出与 N 和 S 相关联,故选择 A、B.

2. **答案**:(1)如图所示



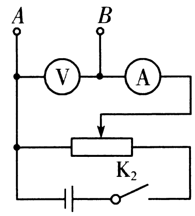
(2)AC

解析:(1)滑动变阻器应用限流式接法.

(2)由 $F=BIL$ 可得适当增大导轨间距或增大电流,可增大金属棒受到的安培力,根据动能定理:$Fs-fs=\frac{1}{2}mv^2$ 可知金属棒离开导轨时的动能变大,即离开导轨时的速度变大,A、C 正确;若换用一个更长的金属棒,但金属棒切割磁感线的有效长度即导轨间的宽度不变,所以对最后的速度没有影响,B 错误.

3. **答案**:(1)见解析图　(2)0.57(0.57~0.59 均可)　64(64~66 均可)　(3)1′和 2′

解析:(1)根据实物图画电路图,首先,要看清楚电路的结构,分为测量部分和供电部分.测量部分是外接法测电阻,供电部分中滑动变阻器接成分压式.其次,将用电器符号代替实物仪器,合理放置.最后,用笔画线代替导线将用电器连起来即可.电路图如图所示.



(2)U-I 图线过原点,知 $k=R=\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{U}{I}$,选择一组数据代入,如 $R=\frac{2.0}{3.5\times10^{-3}}\ \Omega\approx 0.57\ \text{k}\Omega$.又由电阻定律有 $R=\rho\frac{L}{S}$,得 $L=\frac{RS}{\rho}=\frac{R\cdot\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}{\rho}=\frac{\pi RD^2}{4\rho}$,代入数据得 $L=64$ m.

(3)由表格中的结果,依次可推得 3→2→1→1′→2′→3′这条线路有某处断路;电热丝部分没有断开;3→2→1 导通,电压表短路,读数为零;1→1′→2′这段线路某处断开;2′→3′之间导通.综合可知,应该是 1′和 2′之间断路.

专题十八　用单摆测定重力加速度

[**实战演练**]

1. **答案**:(1)AC　(2)12.0　0.993 0　(3)A

解析:(1)在"探究影响单摆周期的因素"实验中,应使单摆在摆动过程中摆长不变,而且摆长便于调节,故选项 A、C 正确,选项 B、D 错误.

(2)摆球的直径 $d=12\ \text{mm}+0\times0.1\ \text{mm}=12.0\ \text{mm}$

摆长 $l=L-\frac{d}{2}=0.999\,0\ \text{m}-0.006\,0\ \text{m}=0.993\,0\ \text{m}$.

(3)单摆振动的摆角 $\theta\leqslant5°$,当 $\theta=5°$时单摆振动的振幅 $A=l\sin 5°=0.087\ \text{m}=8.7\ \text{cm}$,且为了计时准确,应在摆球摆至平衡位置时开始计时,故选项 A 正确,选项 B、C、D 错误.

2. **答案**:(1)AD (2)$\frac{4\pi^2n^2L}{t^2}$ (3)2.01 9.76 (4)B (5)$\frac{4\pi^2(l_1-l_2)}{T_1^2-T_2^2}$

解析:(1)做“用单摆测重力加速度”的实验时摆线要选择尽可能长一些的,摆球要选择质量大些、体积小些的.所以选择A和D.

(2)由单摆周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,可得 $g=\frac{4\pi^2L}{T^2}$

n 次全振动的时间为 t,则单摆周期为 $T=\frac{t}{n}$

由以上两式可得 $g=\frac{4\pi^2n^2L}{t^2}$.

(3)50次全振动的时间为100.5 s,则周期 $T=\frac{t}{n}=2.01\ \text{s}$

将题目所给数据代入 $g=\frac{4\pi^2n^2L}{t^2}$,可得 $g=9.76\ \text{m/s}^2$.

(4)由单摆周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$可得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l$

若误将单摆的摆长记为悬点到小球下端的距离 L,则单摆的实际摆长 $l=L-r$,其中 r 为小球半径.由以上两式可得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}(L-r)$,变形得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}L-\frac{4\pi^2r}{g}$.斜率$\frac{4\pi^2}{g}$大于零,纵截距 $-\frac{4\pi^2r}{g}$小于零,所以选项A不正确;

若误将49次全振动记成50次全振动,由 $T=\frac{t}{n}$可知周期偏小,所以选项B正确.

由 $g=\frac{4\pi^2L}{T^2}$ 可知,T 偏小,则 g 偏大,所以选项C不正确.

(5)设 A 点到细绳与铁锁所组成系统重心的距离为 r,则摆长 $L=l+r$.

由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{l+r}{g}}$,

前后两次改变摆长可得周期 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l_1+r}{g}}$,$T_2=2\pi\sqrt{\frac{l_2+r}{g}}$,从而得 $g=\frac{4\pi^2(l_1-l_2)}{T_1^2-T_2^2}$.

3. **答案**:(1)T^2r (2)$\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 0.17 (3)不变

解析:(1)根据复摆的周期公式:$T=2\pi\sqrt{\frac{I_c+mr^2}{mgr}}\Rightarrow T^2r=\frac{4\pi^2I_c}{mg}+\frac{4\pi^2r^2}{g}$,题图中纵坐标表示 T^2r.

(2)根据关系式,利用单位关系可知 I_c 的国际单位为 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$;根据图线的截距得$\frac{4\pi^2I_c}{mg}=1.25$,解得 $I_c=0.17$.

(3)本实验数据处理是通过图线的斜率分析出的,与质量无关,所以质量变化后,重力加速度的测量值不变.

4. **答案**:(1)BD　(2)9.4

(3)增加小球下落的高度;多次重复实验,结果取平均值.(其他答案只要合理也可)

(4)见解析

解析:(1)电路中的电源的作用是为电磁铁通电,选用交流电源和直流电源都可以,故A错;实验前应将M调整到电磁铁的正下方,以便于金属球敲击弹性金属片M,故B对;用直尺测量金属球下端到M的竖直距离作为小球下落的高度,故C错;手动敲击M的同时按下秒表开始计时,故D对.

(2)根据$H=\frac{1}{2}gt^2$,又$t=0.65\ \text{s}$,$H=1.980\ \text{m}$,求得$g=9.4\ \text{m/s}^2$.

(3)增加小球下落的高度;多次重复实验,结果取平均值.(其他答案只要合理也可)

(4)由$H_1=\frac{1}{2}g\left(\frac{T_1}{n}-\Delta t\right)^2$和$H_2=\frac{1}{2}g\left(\frac{T_2}{n}-\Delta t\right)^2$

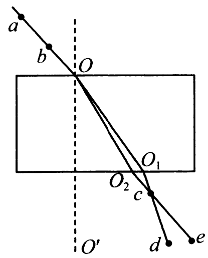
可得$g=\frac{2n^2(\sqrt{H_1}-\sqrt{H_2})^2}{(T_1-T_2)^2}$,因此可以消去$\Delta t$的影响.

专题十九　测定玻璃的折射率

[**实战演练**]

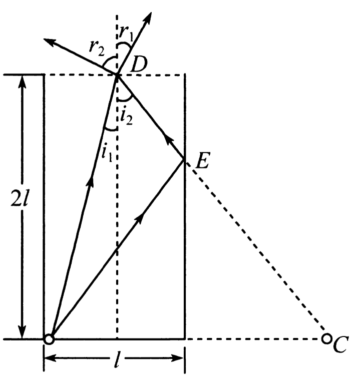
1. **答案**:光学　d　e

解析:实验用的光学玻璃砖的光学面不能用手接触,以防止损坏其光学面.如图所示,连接dc、ec并延长分别交玻璃砖于O_1、O_2点,并连接OO_1、OO_2,入射角i相同,折射角$\angle O'OO_2<\angle O'OO_1$,由$n=\frac{\sin i}{\sin r}$得,折射角越大的,求得的折射率越小.由图可得,用$d$点得到的值较小,而$ce$与$ab$近似平行,故用$e$点得到的值误差较小.



2. **答案**:$n=1.55$

解析:设从光源发出直接射到D点的光线的入射角为i_1,折射角为r_1.在剖面内作光源相对于反光壁的镜像对称点C,连接C、D,交反光壁于E点,由光源射向E点的光线反射后沿ED射向D点.光线在D点的入射角为i_2,折射角为r_2,如图所示.设液体的折射率为n,由折射定律有



$n\sin i_1=\sin r_1$　①

$n\sin i_2=\sin r_2$　②

由题意知

$r_1+r_2=90°$　③

联立①②③式得

$n^2=\frac{1}{\sin^2 i_1+\sin^2 i_2}$　④

由几何关系可知

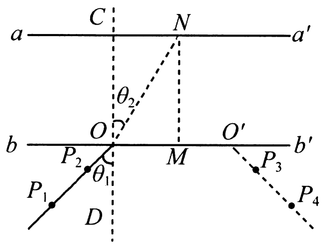
$\sin i_1=\frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{4l^2+\frac{l^2}{4}}}=\frac{1}{\sqrt{17}}$　⑤

$$\sin i_2=\frac{\frac{3}{2}l}{\sqrt{4l^2+\frac{9l^2}{4}}}=\frac{3}{5}\qquad ⑥$$

联立④⑤⑥式得 $n=1.55$.

3. **答案**:见解析

解析:(1)在 bb' 一侧观察 P_1、P_2(经 bb' 折射、aa' 反射,再经 bb' 折射后)的像,在适当的位置插上 P_3,使得 P_3 与 P_1、P_2 的像在一条直线上,即让 P_3 挡住 P_1、P_2 的像;再插上 P_4,让它挡住 P_1、P_2 的像和 P_3. P_3、P_4 的位置如图所示.



(2)①过 P_1、P_2 作直线与 bb' 交于 O;

②过 P_3、P_4 作直线与 bb' 交于 O';

③利用刻度尺找到 OO' 的中点 M;

④过 O 点作 bb' 的垂线 CD,过 M 点作 bb' 的垂线与 aa' 相交于 N 点,如图所示,连接 ON;

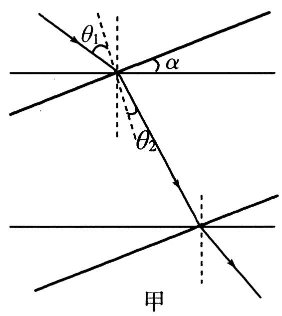
⑤$\angle P_1OD=\theta_1$,$\angle CON=\theta_2$.

(3)根据折射定律有 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$.

4. **答案**:(1)C (2)偏小 (3)如解析图乙所示

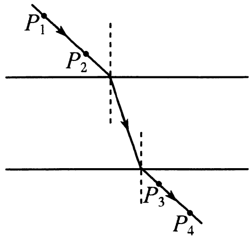
解析:(1)本实验在用插针法时,角度不宜过大,也不宜过小,选项 A 错误;不能直接用铅笔贴着光学面画界面以免损坏光学面,选项 B 错误;本实验通过 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 求折射率,也可以画圆,通过 $\sin\theta=\frac{x}{r}$ 将角度正弦之比转化为角度对边长度之比,选项 C 正确;在观察像与针是否在一条直线上时,应该观察大头针的底部,选项 D 错误.

(2)如图甲所示,加粗部分为插针时玻璃砖所在位置,即真实情况,设此时入射角和折射角分别为 θ_1、θ_2,折射率真实值为 n,则 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$;未加粗部分为处理数据时玻璃砖所画位置,设玻璃砖转过角度为 α,折射率测量值为 n',则 $n'=\frac{\sin(\theta_1+\alpha)}{\sin(\theta_2+\alpha)}$,故 $n'<n$,折射率偏小.



甲

(3)光路图如图乙所示.



乙

专题二十　用双缝干涉测光的波长

［实战演练］

1. **答案**:ACD

解析:根据干涉图样中两相邻亮条纹的间距 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知,要使 Δx 增大,可以增大波长或增大双缝到屏的距离或缩小双缝间的距离,所以选项 A、C、D 正确,B、E 错误.

2. **答案**:(1)15.02　(2)2.31　6.6×10^2

解析:(1)主尺读数为 15 mm,游标尺读数为 1×0.02 mm $=0.02$ mm,二者相加可得读数为 15.02 mm.

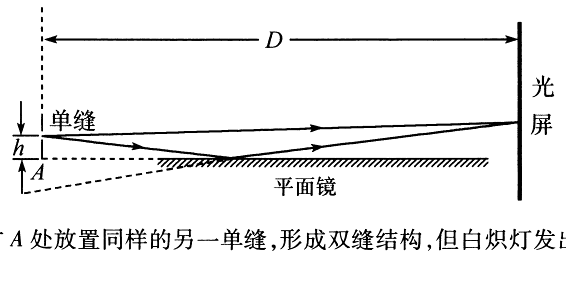
(2)由于图中数字标记的是暗条纹,首先应根据暗条纹所标数字给亮条纹也标明条数,若图乙(a)中的中央刻线所对亮条纹记为第 1 条,则图丙(a)中,中央刻线所对亮条纹为 $n=7$,则 $\Delta x=\frac{x_2-x_1}{n-1}=2.31$ mm,光的波长 $\lambda=\frac{\Delta x\cdot d}{l}=6.6\times10^2$ nm.

3. **答案**:D　19.40　420

解析:换上紫色滤光片后,由 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$可知,在其他条件不变的情况下,条纹间距应变小,D 正确. 根据游标卡尺读数为 19.40 mm,可求出条纹间距 $\Delta x=\frac{25.70-19.40}{5}$ mm $=1.26$ mm,所以紫光的波长 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$ $=420$ nm.

4. **答案**:$\frac{D}{2h}\lambda$　不能

解析:如图所示,通过平面镜反射的光线可以看做在 A 点下方 h 处射出的光线,则干涉条纹可以看做由单缝到 A 点距离均为 h 的双缝干涉形成的条纹,则条纹间距 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda=\frac{D}{2h}\lambda$;



撤去平面镜,在单缝下方 A 处放置同样的另一单缝,形成双缝结构,但白炽灯发出的光不是相干光,通过两缝的光不能发生干涉.

获取更多初高中教辅电子书资源，咨询微信：13352881947